

SERIE
REFORMAS ECONÓMICAS

53

**INSTITUCIONES Y TECNOLOGÍA EN EL
DESARROLLO EVOLUTIVO DE LA
INDUSTRIA MINERA CHILENA**

**Jorge Katz
Jaime Cáceres
Kattia Cárdenas**

LC/L.1349
Marzo de 2000

Este trabajo fue preparado por los señores Jorge Katz, Director de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL, Jaime Cáceres y Kattia Cáredenas, ambos consultores de la la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la CEPAL, para el Proyecto “Crecimiento, empleo y equidad: América Latina en los años noventa”, financiado por el Gobierno de los Países Bajos (HOL/97/6034). Las opiniones expresadas en este trabajo, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de la exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. LO ECONÓMICO, LO TECNOLÓGICO Y LO INSTITUCIONAL, COMO DETERMINANTES DE LA ESTRUCTURA Y COMPORTAMIENTO DE LA INDUSTRIA DEL COBRE.....	11
1. Las empresas mineras.....	12
1.1. <i>SOQUIMICH</i>	12
1.2. <i>Minera Escondida</i>	12
1.3. <i>CODELCO</i>	13
2. Otros agentes sectoriales de importancia	13
2.1. <i>Empresas de Ingeniería</i>	13
2.2. <i>Proveedores de Equipos</i>	14
3. El papel de las variables macroeconómicas	14
4. Lo meso y lo micro como condicionantes de la conducta empresarial	17
4.1. <i>La naturaleza del yacimiento, como factor de restricción</i>	17
4.2. <i>La búsqueda de nuevos yacimientos</i>	20
III. EL PAPEL DE LOS FACTORES MESOECONÓMICOS COMO DETERMINANTES DE LA CONDUCTA EMPRESARIA	25
1. La legislación minera	25
2. El régimen impositivo	26
3. La formación de recursos humanos calificados	28
4. Las firmas de ingeniería	29
5. Los fabricantes de equipos y sus representantes locales.....	31
IV. EL PAPEL DE LO MICROECONÓMICO EN EL COMPORTAMIENTO DEL SECTOR MINERO	35
1. Diferencias de comportamiento tecnológico entre empresas	35
1.1. <i>CODELCO</i>	35
1.2. <i>SQM (SOQUIMICH)</i>	37
1.3. <i>ESCONDIDA</i>	39
1.4. <i>LA PEQUEÑA MINERÍA DEL COBRE</i>	40
V. REFLEXIONES FINALES.....	43

BIBLIOGRAFÍA	51
APÉNDICE	53
Evolución tecnológica del sector minero chileno	53
<i>Area Mina</i>	<i>53</i>
<i>Área Procesos</i>	<i>56</i>
<i>Área Medio-Ambiental.....</i>	<i>59</i>

I. INTRODUCCIÓN

El sector minero es emblemático del rápido proceso de crecimiento que experimentara Chile en el curso de los años 1990. El mismo capta 8% del PBI, 16% de la formación bruta de capital y 46% del total de las exportaciones. La producción minera ha crecido a una media anual acumulativa del 11% a lo largo de la última década. Dentro del sector minero el cobre es claramente el rubro principal, representando casi 85% del total de exportaciones mineras efectuadas por Chile. Otros productos importantes son el oro, la plata, el molibdeno y el yodo.

Son muchos los ángulos desde donde podemos enfocar un análisis de este sector y de su impacto económico e institucional en la vida chilena. Los mismos involucran complejos temas económicos, tecnológicos y regulatorio/institucionales que se interconectan y retroalimentan dando origen a un proceso co-evolutivo de largo plazo de crucial importancia en la historia económico-social de Chile. En esta monografía habremos de explorar el comportamiento evolutivo de dicho sector de la actividad productiva desde la perspectiva particular del cambio tecnológico y el comportamiento innovativo de los principales actores en ella involucrados, buscando así arrojar luz sobre un conjunto de temas que no son frecuentemente examinados en los estudios sobre el sector.

En los años 1970, tras el golpe militar, cambia radicalmente el 'clima' legal y regulatorio en el que se desempeña el país y, a fortiori, la industria minera, induciendo ello - con cierto rezago en el tiempo - cambios profundos en la estrategia de largo plazo y en el comportamiento de los agentes económicos individuales. El DL 600 - o Estatuto a la Inversión extranjera - de 1974, la Ley Minera de 1980 (al instituir el concepto de concesión plena) y la legislación tributaria- que permite a las empresas mineras adoptar la forma de 'sociedades contractuales mineras', recibiendo así importantes beneficios fiscales - llevan a que la ecuación de riesgos y oportunidades que subyace bajo el sector minero cambie radicalmente respecto a décadas anteriores. Ello, y la sensación generalizada de que el país entra en ese momento en una nueva fase de su historia en lo que a derechos de propiedad sobre los recursos naturales - bosques, recursos mineros, agua, etc.- se refiere ejerce un fuerte impacto sobre la industria minera. Entran nuevos actores a la industria, se revitalizan la inversión y el ritmo de modernización tecnológica de las principales firmas de plaza, y el sector vive una etapa francamente expansiva.

En paralelo, pero independiente de todo lo anterior, también se registra un rápido proceso de cambio tecnológico en la industria mundial del cobre a partir de la reacción que muchas grandes empresas de este rubro tuvieron a la crisis de precios y de demanda que el sector experimenta en los años 1980. Un sinnúmero de nuevas tecnologías de proceso - en el desarrollo

de algunas de las cuales hubo de participar activamente CODELCO, como habremos de mostrar posteriormente - fueron gradualmente difundiéndose a escala mundial y doméstica. Lo mismo ocurre en lo que atañe a nuevos equipos, nuevas formas de organización del trabajo y nuevos modelos de cooperación entre firmas terminales y subcontratistas, proveedores de servicios a la producción. La industria del cobre entra en una etapa de fuertes cambios tecnológicos y organizacionales de los que, por supuesto, no quedan marginados los productores chilenos. Es mas, en el marco de la fuerte expansión de los años 1990 Chile tiende claramente a cerrar la brecha tecnológica relativa que arrastraba de décadas anteriores.

El ingreso de nuevas empresas al mercado, la inversión en nueva capacidad instalada y el rápido ritmo de cambios tecnológicos que experimenta la industria , van dando paso a una fuerte transformación en la morfología y comportamiento de la misma. Dado que en esta rama productiva operan empresas públicas, grandes firmas mineras de capital nacional, subsidiarias de empresas extranjeras y pequeñas firmas mineras de naturaleza quasi-artesanal - coligadas en torno a la figura de una central estatal de refinación, Enami - resulta natural esperar que las respuestas a dichos cambios en lo regulatorio e institucional, por un lado, y en lo tecnológico, por otro, fueran sumamente heterogéneas y que ello llevara a mutaciones de importancia en la participación relativa de los distintos colectivos empresarios en la producción sectorial. La firma más grande de plaza - CODELCO, una empresa estatal -, pierde terreno relativo en la producción y en las exportaciones de cobre que realiza Chile pero, simultáneamente, va experimentando una gran transformación interna, reducciones de personal, aumentos de productividad y un fuerte proceso de modernización organizacional y tecnológica. Opta por mantenerse en la producción del 'commodity' - esto es, concentrados y cátodos de cobre - pero avanza en la consolidación de su capacidad interna de I&D en materia de ingeniería de procesos, y en la búsqueda de alianzas internacionales para la exploración y explotación de nuevos yacimientos de cobre y/o de oro.

Paralelamente a todo ello la sociedad chilena asiste a un complejo debate acerca de posibles escenarios futuros en lo que a propiedad de CODELCO se refiere. No todo el mundo en Chile desea tener una industria del cobre en manos estatales, pero tampoco todo el mundo desea que la misma sea privada y, menos aún, que siéndolo no tribute fiscalmente, como ocurre en la actualidad. Las Fuerzas Armadas – actor importante del cuadro institucional chileno - derivan parte de sus ingresos corrientes y financian parte de sus gastos en equipamiento bélico a partir de transferencias que sistemáticamente reciben de dicha firma estatal hecho que las lleva a evaluar su status jurídico desde la perspectiva de la Seguridad Nacional, tal como la misma resulta definida por las entidades castrenses. En función de ello también la opinión de los altos mandos militares cuenta a la hora de debatir escenarios futuros para esta empresa. Obviamente, estamos frente a una cuestión aun no enteramente resuelta en la que las diferencias de opinión y las tensiones institucionales habrán de continuar por un buen tiempo en el medio chileno.(Academia Nacional de Estudios Políticos y Estratégicos, 1992; J. Gana et. al. 1993; Informe Final Comisión CODELCO, 1993).

Pese a no operar en el mercado del cobre, SOQUIMICH - una firma minera privada, grande, de capital chileno,- nos muestra una estrategia tecnológica y de gestión empresarial de

largo plazo distinta a la de CODELCO. Dicha estrategia está, en parte, basada en la diferenciación de producto y en la búsqueda de un mix de producción mas diversificado y abierto, con mayor valor agregado doméstico, en la concertación de alianzas estratégicas con grandes actores del campo minero en pro de nuevos negocios, etc. Es desde esta perspectiva - y obviamente no como productor de cobre - que nos ha parecido importante tomar en cuenta su caso en el marco de este estudio. Podemos observar aquí diversos rasgos de una conducta empresarial 'proactiva' que nos resultan cruciales en la discusión del futuro de CODELCO y del sector cuprífero chileno, aspecto que retomaremos en secciones posteriores de este trabajo.

Escondida, por su parte, nos muestra una tercera alternativa en lo que hace a estrategia tecnológica y de gestión de negocios. En este caso, estamos frente a una firma de capital extranjero, especializada en la producción del 'commodity'- concentrado de cobre - pero que a raíz de su más reciente inserción en el mercado y a estar explotando un yacimiento 'nuevo', de muy alta ley, puede durante un periodo largo esperar altas tasas de rentabilidad sin necesariamente tener que incurrir en grandes esfuerzos de I & D o de mejoras de proceso. Por este motivo - la alta calidad del yacimiento que explota - y por tratarse de una subsidiaria de empresa extranjera cuyo centro tecnológico está radicado en el exterior, opera en base a una estrategia de largo plazo significativamente distinta que la que observamos en los dos casos previamente mencionados.

Finalmente, un cuarto escenario - también diferente de los anteriores - es dable de hallar en el ámbito de las empresas pequeñas, muchas de ellas quasi-artesanales, donde los grandes cambios tecnológicos asociados a la introducción de equipos pesados de producción están, por definición, excluidos. En este ámbito del mercado la conducta empresarial está fuertemente determinada por el papel que cumple el Estado en este campo de la actividad productiva. Se trata este de un 'colectivo' empresario en franca declinación en el tiempo, pero del que dependen diversos aspectos de significación regional - empleo, por ejemplo, aunque los números involucrados no son demasiado significativos - razón por la cual diversas formas de subsidio juegan aun hoy un papel importante en diferentes escenarios locales.

Estas cuatro situaciones dan pie a un complejo cuadro de heterogeneidades en lo que a comportamiento empresarial se refiere. Lo económico, lo tecnológico y lo institucional interactúan condicionando la conducta de los agentes económicos individuales y el proceso de reestructuración sectorial en que hoy esta inmerso el sector minero de Chile. Comprender esta compleja trama de interacciones nos parece crucial si hemos de identificar correctamente la agenda de temas con que este sector productivo confronta en la actualidad a la sociedad chilena.

Algunos de dichos temas - que, a nuestro juicio, deberán ser encarados en un futuro no muy lejano - dicen relación con la sustentabilidad de largo plazo de esta actividad productiva - basada en un recurso natural no renovable - y con los cambios de estrategia que podrían ser aconsejables a fin de que la sociedad chilena maximizara los beneficios que deriva de sus innegables ventajas comparativas en la misma. Chile no es un actor menor en la escena internacional en este campo y necesariamente debe preguntarse hoy como aprovechar mejor las

nuevas oportunidades de negocios que se abren de cara al futuro. Poder hacerlo sin duda involucra dar un salto competitivo y aumentar el valor agregado domestico pero, dadas la significación que el cobre chileno tiene a escala mundial, y la talla potencial de CODELCO como un jugador de escala internacional, ello seguramente involucra desarrollar localmente una base tecnológica, una trama de alianzas estratégicas con firmas de orden mundial y un cambio en la 'visión' de largo plazo que el país tiene en esta materia. ¿Cuánto y de qué manera el país debe invertir en I & D (investigación y desarrollo) en este campo para tener un rol de significación en la frontera del conocimiento asociada al mismo? ¿Cómo conviene actuar para desarrollar los recursos humanos que se necesitan para ello? De qué manera imaginar el papel de CODELCO como una firma globalizada que gestiona negocios, administra yacimientos, mueve capitales y opera en alianza estratégica con grandes actores mundiales de este campo de la actividad productiva constituyen algunas de las cuestiones que ya no pueden dejarse para mas adelante y que deben debatirse en profundidad en los ámbito políticos y económicos chilenos. El tema de la propiedad de CODELCO es importante, pero no creemos que sea lo central en esta materia. Lo central, a nuestro juicio, es la naturaleza de la gestión de largo plazo que la sociedad chilena desea otorgar a este actor privilegiado de la escena cuprífera mundial. Continuar siendo un productor barato de un 'commodity' industrial es, sin duda, una opción importante y sumamente defendible, pero ciertamente no es la única. Para actuar 'proactivamente' en las otras múltiples direcciones en que se podría imaginar el desarrollo futuro de esta empresa se debe comenzar por plantear un menú de largo plazo de las mismas y una 'visión' del sendero que se desea recorrer a lo largo de las próximas décadas. Es en esta dirección, y con una óptica particular desde lo innovativo y tecnológico que el presente trabajo pretende aportar algunos elementos de interés para el debate nacional en la materia.

Partimos, en la segunda sección, examinando brevemente el papel que las variables macro, meso y microeconómicas cumplen en este sector productivo condicionando la conducta de los agentes económicos individuales. Dado que el interés primordial de este estudio radica en comprender la conducta tecnológica, innovativa y de negocios de las principales firmas de plaza dicha sección prosigue examinando el conjunto de restricciones que, por vía de lo tecnológico, afectan la ecuación de rentabilidad de las empresas productoras de cobre. Es importante comprender que la producción de este mineral depende crucialmente de diversos rasgos físicos del yacimiento que cada firma explota y que resultan difíciles de modificar por la mano del hombre. En efecto, estamos frente a un recurso no renovable en el que, si una mina es subterránea o a tajo abierto, 'nueva' o 'vieja', de alta o de baja ley, constituye un hecho irreversible que incide profundamente sobre los costos operativos y la rentabilidad de la empresa que la explota y sobre su estrategia tecnológica de largo plazo. Es cierto que dicho factor puede ser parcialmente contrarrestado por mejoras de proceso y de organización del trabajo que la empresa puede introducir a través del tiempo, pero no lo es menos el que dichas mejoras están sujetas a rendimientos decrecientes y tienden a chocar, en el largo plazo, contra los límites naturales impuestos por el yacimiento en consideración.

A raíz de ello, y paralelamente con la búsqueda de mejoras de proceso, las firmas mineras se ven en la necesidad de encarar esfuerzos de prospección minera - o subcontratarlos a terceros

especializados en este tipo de actividades - en búsqueda de nuevos yacimientos. En otros términos: mejoras de procesos en yacimientos ‘viejos’ y puesta en marcha de yacimientos nuevos constituyen dos caras de una misma moneda que en conjunto van dando forma a la estrategia de largo plazo de toda empresa minera. Resulta claro, cuando planteamos las cosas de esta forma, que la tasa de interés, el precio internacional del cobre, la tasa de salarios, las reservas de cobre disponibles en la empresa y en el mercado y, por sobre todo, las expectativas o ‘animal spirits’ empresarios, inciden sobre dicha estrategia (G.Cortázar y J.Casassus, 1998). Lo hacen a través de un complejo algoritmo en el que el momento ‘óptimo’ de apertura de un nuevo yacimiento, así como los gastos ‘óptimos’ de mejoras de proceso en uno que se va agotando en el tiempo constituyen dos opciones estratégicas que todo elenco empresario debe manejar con cierto cuidado. Ambas se mezclan y entrelazan dando lugar a distintos comportamientos microeconómicos, algunos mas exitosos que otros.

En la tercera sección del trabajo nos referimos al papel que lo institucional y regulatorio cumplen, complementando lo estrictamente tecnológico, como determinantes de la conducta empresaria en este campo de la actividad productiva. Aparecen aquí temas de legislación minera, de régimen impositivo, etc. que conforman el particular ‘régimen institucional y regulatorio’ en que opera esta industria. Al igual que las variables de carácter macro previamente mencionadas dicho ‘régimen’ condiciona profundamente el comportamiento de los agentes productivos individuales.

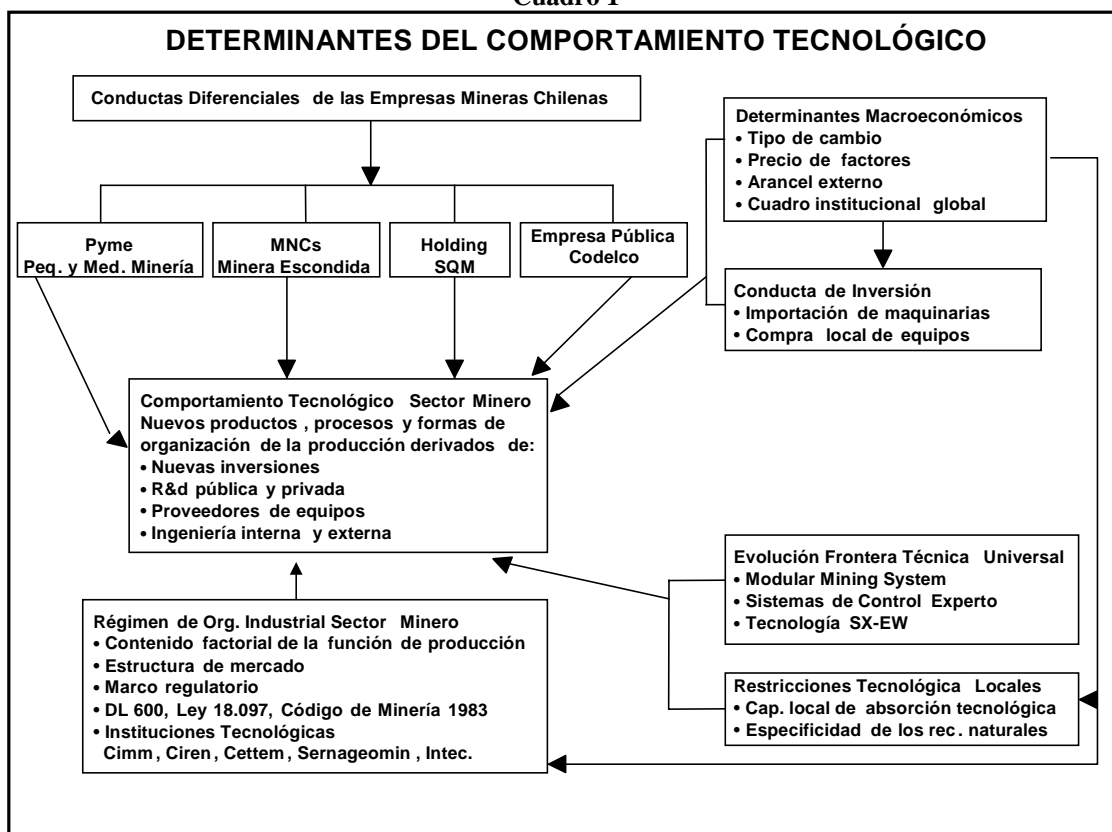
En la cuarta sección relacionamos todo lo anterior con la morfología y comportamiento de la industria. Tal como dijéramos previamente tanto CODELCO como las pequeñas y medianas empresas mineras de capital nacional aparecen como perdiendo terreno relativo en la actualidad. Por el contrario, es el sector de empresas transnacionales el que está ganando participación en la industria. Existe consenso de que tal tendencia habrá de continuar en el futuro próximo, aun cuando resta por efectuarse un debate profundo sobre el régimen impositivo en que opera el sector y sobre el impacto que su eventual modificación podría tener sobre la morfología y comportamiento de esta industria. Tal como decíamos anteriormente, también resta por discutirse el futuro rol de CODELCO como un ‘global player’ de escala mundial, y las implicancias tecnológicas, institucionales y de gestión empresaria que ello traerá aparejado.

En la y última sección del trabajo, resumimos las ideas aquí presentadas y concluimos con una breve discusión sobre posibles escenarios futuros.

II. LO ECONÓMICO, LO TECNOLÓGICO Y LO INSTITUCIONAL, COMO DETERMINANTES DE LA ESTRUCTURA Y COMPORTAMIENTO DE LA INDUSTRIA DEL COBRE

El Cuadro 1 presentado a continuación describe el complejo juego de fuerzas económicas, tecnológicas e institucionales que actúa condicionando el comportamiento cotidiano de las empresas productoras de cobre. La conducta de los agentes económicos individuales está afectada por variables del ámbito global -la tasa de interés, el tipo de cambio, etc.- así como también por variables del ámbito estrictamente sectorial, relacionadas con el 'régimen institucional y regulatorio' en que opera la industria del cobre -por ejemplo, el régimen impositivo o la legislación sobre propiedad minera- y, por variables microeconómicas que hacen a la naturaleza de la propiedad -nacional o extranjera- a la historia evolutiva, y al desarrollo de la capacidad tecnológica interna de cada firma tomada individualmente.

Cuadro 1



Fuerzas de cada uno de estos tres planos afectan la expectativas, riesgos y posibilidades que enfrenta cada firma, condicionando su estrategia de negocios. Comenzaremos nuestra descripción del escenario actual caracterizando brevemente las principales diferencias que hoy pueden detectarse en las oportunidades y restricciones con que operan las principales firmas de plaza. Ello nos permitirá, posteriormente, examinar con mayor soltura las opciones que en cada caso se abren de cara al futuro.

1. Las empresas mineras

1.1. SOQUIMICH

Es la principal empresa productora de yodo y nitratos del mundo, con una dotación aproximada de 3.500 personas. Los dos principales yacimientos salitreros que explota son de larga data. A partir de 1988 - año en que finaliza la privatización de esta firma - se da inicio a un importante programa de inversiones tendiente a modernizar las instalaciones y equipos, y se adopta como estrategia de largo plazo la diversificación de la cartera de productos. Dicha estrategia ha implicado la materialización de un gran número de proyectos tendientes a mejorar la calidad tanto química como física de los productos existentes y a desarrollar nuevos productos. Esto, es apoyado por un centro de investigación propio creado en el año 1987. Desde el punto de vista organizacional la empresa se moderniza y adquiere estructura de holding, lo que le permite reducir significativamente su planta de operarios y empleados administrativos. En materia de apertura del mix de negocios observamos que la firma adquiere los derechos mineros necesarios para materializar el proyecto Minsal (cloruro de potasio, carbonato de litio, sulfato de potasio), se realizan exploraciones mineras tanto de recursos mineros tradicionales (caliche) como de otros recursos minerales (metálicos y no metálicos), se adquieren empresas productoras relacionadas, se realizan asociaciones estratégicas con empresas internacionales, se avanza en la integración vertical tanto hacia atrás como hacia adelante, y se obtienen recursos de inversión por la vía de emisión de ADRs (Advisory Depositary Receipts) en el mercado bursátil norteamericano.

1.2. Minera Escondida

Esta es la segunda empresa productora de cobre de Chile (0,9 millones t/a cobre fino), con una dotación aproximada de 2.000 personas. Pertenece a un consorcio de empresas multinacionales (BHP, RTZ, JECO e IFC). El yacimiento de cobre que explota desde el año 1990 presenta extremas bondades y además contiene oro como subproducto. El desarrollo del proceso fue realizado fuera del país y la contratación de la ingeniería ha sido con empresas internacionales. Se han materializado diversas fases de expansión de capacidad instalada en la mina bajo explotación. Las campañas de exploración minera en búsqueda de nuevos yacimientos han sido poco intensivas si se comparan con las que realiza CODELCO. En nuestra opinión la conducta conservadora de esta firma se explica por las escasas restricciones que debe enfrentar. La misma explota un yacimiento de altísima ley, no debe lidiar con escasez de recursos financieros, puede recurrir a la adquisición de pertenencias mineras a terceros, si así lo juzga conveniente, etc. Todo ello configura un cuadro de escasas preocupaciones - y alta rentabilidad - relacionado con sus actividades productivas en Chile. Minera Escondida ha mantenido un buen manejo ambiental y ha hecho aportes urbanísticos significativos a la ciudad de Antofagasta. A la fecha no ha

incursionado en otros negocios, concentrándose en la producción de commodities en base a la explotación acelerada del yacimiento actual.

1.3. CODELCO

Esta firma estatal es la principal empresa productora de cobre del mundo (1,3 millones t/a cobre fino) y opera con una dotación aproximada a las 18.000 personas. Cuatro de los cinco yacimientos que explota son de larga data, razón por la que no hace sentido comparar la productividad media de esta firma con, por ejemplo, la de Escondida. La comparación sí tendría sentido si solo se toma para ello la mina Rodomiro Tomic, de reciente puesta en marcha. A partir de 1994 CODELCO inicia un amplio programa de inversiones físicas y de modernización organizacional y tecnológica. Adicionalmente, se avanza en forma importante en la gestión administrativa. Se realizan asociaciones con terceros para la exploración y explotación de nuevos yacimientos de cobre. Se reduce el personal, se externalizan diversos servicios, se crea un centro de investigación propio (1998), se efectúan aportes crecientes a actividades de promoción de nuevos usos del cobre, etc. Aun cuando el camino emprendido en pro de la modernización ha dado significativos resultados resulta claro que resta mucho por avanzar en esta dirección. Tal como dijéramos en nuestra sección introductoria ello parece requerir una visión ‘proactiva’ de CODELCO - ya detectable en muchas de sus acciones recientes - buscando alianzas estratégicas con corporaciones privadas de talla mundial, y abriendo la estructura de negocios hacia campos relacionados y semi-relacionados con el cobre, tanto en Chile como en el exterior.

2. Otros agentes sectoriales de importancia

La estructura y comportamiento de la industria minera se ven significativamente afectados no solo por lo que hacen las empresas productoras de cobre, sino también por el desempeño de las empresas de ingeniería y los proveedores de equipos involucrados en el sector, tema que brevemente examinamos a continuación.

2.1. Empresas de Ingeniería

La dotación total de personal de las 9 principales empresas chilenas de ingeniería que ofrecen servicios al sector minero alcanzaba en 1996 a unas 1.800 personas. Se trata de firmas que normalmente implementan mejoras de procesos, nuevas tecnologías, etc. desarrolladas por la empresa usuaria o por terceros. Por su parte, la dotación en Chile de las 3 principales empresas internacionales de ingeniería alcanzaba en ese mismo año a casi 7.300 personas. El ámbito de acción de estas empresas ha sido mayor que el de las empresas nacionales abarcando actividades de desarrollo de procesos. En general las empresas locales de ingeniería han recurrido a asociaciones con firmas internacionales con el objeto de mantenerse competitivas y subsistir en un mercado altamente dinámico. Las empresas internacionales se han ajustado con gran rapidez a los requerimientos del mercado local aumentando o disminuyendo sus planteles de profesionales y técnicos sin mayores dificultades ni presiones de tipo laboral o gubernamental.

2.2. *Proveedores de Equipos*

Prácticamente todos los grandes productores de equipos que atienden a la minería a nivel mundial se encuentran representados en Chile. A lo largo de los últimos años se observa una tendencia creciente a que estas firmas proveedoras de insumos, repuestos y equipos para la minería estén físicamente presentes en las faenas mineras y busquen establecer relaciones de largo plazo con sus clientes mediante desarrollos tecnológicos conjuntos. También se observa un marcado proceso de ‘take-overs’ (o adquisiciones) de este tipo de empresas por parte de firmas internacionales. Las inversiones más relevantes de los proveedores, nacionales o extranjeros, dicen relación con el servicio de mantenimiento de los equipos. Se ha reemplazado la venta tradicional, vista casi exclusivamente como una operación de índole comercial, por otra cuya modalidad principal es que la firma de representación entrega un ‘paquete’ complejo de equipos y servicios colaterales de ingeniería involucrados en la instalación, puesta en marcha y servicio de posventa de las máquinas y equipos de transporte que comercializa. Ello implica que estas empresas han debido crear y desarrollar departamentos técnicos para esta nueva fase del desarrollo sectorial. La creciente relevancia del sector minero chileno y la gradual maduración de la capacidad tecnológica local en la materia ha llevado aparejado una importante disminución en los tiempos de entrega y en el rezago entre el primero uso internacional de una dada tecnología y su utilización en Chile. En este plano el país opera prácticamente al unísono con la frontera internacional de conocimientos.

Habiendo hasta aquí presentado una breve descripción de los principales actores - y de las diferencias que entre ellos se observa - del escenario minero contemporáneo en Chile, pasamos ahora a ver como las variables macro, meso y microeconómicas afectan a cada uno de ellos y coindicionan su comportamiento de largo plazo.

3. El papel de las variables macroeconómicas

Los ‘grandes precios’ de la economía - la tasa de interés; el tipo de cambio, etc. - y el mayor o menor grado de incertidumbre prevalente en la misma - usualmente reflejado en lo que se ha dado en llamar índice de ‘riesgo-país’ - inciden de manera crucial sobre el comportamiento de las empresas productoras de cobre. Junto al precio internacional del mismo aquellos afectan de manera crucial la ‘propensión a invertir’ de cada empresa. Aun cuando se trata de variables ‘genéricas’ - es decir, de carácter global - su incidencia puede ser muy distinta entre empresas, como veremos a lo largo de esta sección.

El alto grado de estabilidad macroeconómica alcanzado por Chile en el curso de las últimas dos décadas, y la consolidación de los derechos de propiedad en el campo minero, sin duda hubo de reducir profundamente el índice de ‘riesgo país’ con que Chile confronta a la comunidad empresaria internacional induciendo a la misma - así como también a los empresarios locales - a encarar nuevos proyectos de inversión y de modernización tecnológica en el campo minero. Ello, y el alto atractivo geológico de los yacimientos de cobre disponibles en Chile, hizo que importantes empresas mineras internacionales, llegaran al país a fines de la década pasada trayendo consigo nuevas tecnologías y know how organizacional para encarar grandes proyectos

de inversión. Junto a ellas también llegaron muchos de sus proveedores internacionales de equipos y firmas de ingeniería, subcontratistas de servicios técnicos para la minería, lo cual fue gradualmente creando un nuevo 'clima' sectorial y una incipiente 'cultura' minera en diferentes ámbitos de la sociedad local. Esto debe verse como un 'capital social' de gran importancia, pese a su carácter muchas veces intangible. El tiempo de ejecución de proyectos, las 'paradas' de planta por mantenimiento, la fabricación local de bienes de capital para la industria, la capacidad doméstica de ingeniería, etc. fueron mejorando sensiblemente pari pasu con el desarrollo de dicha 'cultura' minera. Mejoro también en forma notable la velocidad de respuesta de los proveedores internacionales en lo que hace a la provisión de equipos hechos a pedido para uso local y también la capacidad doméstica para organizar y emprender grandes obras de ingeniería en el campo minero.

Cuando los grandes precios de la economía operan adecuadamente la tasa de interés constituye un factor de gran relevancia para determinar el momento óptimo de reemplazo de una dada tecnología por otra. La estabilidad de precios permite el cálculo económico, y con ello la utilización de herramientas de optimización cuyo uso se fue difundiendo rápidamente entre las firmas del sector. A su vez, el cambio en los precios relativos - lease, abaratamiento relativo de los precios de los bienes de capital - y el mayor acceso al financiamiento externo redundaron en una caída de la vida útil del capital o 'ciclo de vida' de los equipos, afectando ello la conducta tecnológica y organizacional de las empresas, las que en no pocos casos - servicios de transporte en la mina, por ejemplo - cambiaron los patrones de integración vertical con que desarrollaban su actividad, integrando al interior de la empresa actividades que previamente subcontrataban a terceros.

Es interesante observar que el rápido ritmo de expansión del sector ha redundado en un gradual aumento en el número y nivel de complejidad de los bienes de capital para la industria que se diseñan y fabrican en el país. En la actualidad encontramos firmas dedicadas a la producción de Perforadoras, sistemas picadores, vehículos utilitarios, bombas horizontales, calderas, hornos rotatorios, cargadores frontales (LHD), apiladores (Stackers), celdas de flotación y celdas electrolíticas, ventiladores, puentes grúas, convertidores, y equipos y sistemas de transporte de sólidos y pulpa, entre otros. En otros términos: aun en el marco de una creciente internacionalización del sector, y con aranceles de importación sumamente bajos, la especificidad de las condiciones locales de explotación y la presencia de recursos humanos de creciente nivel de calificación induce la aparición de un claro efecto de 'derrame' sobre la industria local de bienes de capital. El efecto dinámico de aprendizaje aquí involucrado lleva a muchas de estas firmas productoras de bienes de capital y servicios para la minería a buscar nuevas oportunidades de negocios en el exterior. Este interés ha encontrado formas de expresión institucional en dos comités especializados que se han constituido al amparo de la dirección de Promoción de Exportaciones, ProChile, que junto a 60 empresas nacionales formaron el programa Chile Exporta Minería. Las mayores expectativas de exportación se concentran en los proyectos mineros latinoamericanos. Las exportaciones de la industria chilena de equipos, accesorios e insumos para la minería durante 1997, fueron de, aproximadamente, US\$ 80 millones. Todo esto no hace sino refirmar la visión previamente planteada de que estamos aquí frente a un proceso de

co-evolución sistémica, en el que lo productivo, lo tecnológico y lo institucional se retroalimentan e influyen mutuamente a través del tiempo.

Hasta aquí nos hemos referido al impacto ‘genérico’ que las variables macroeconómicas tienen sobre las firmas del sector. Sin embargo, y como decíamos anteriormente, las mismas afectan de forma diferenciada a las distintas empresas, dependiendo de su tamaño, propiedad (pública, privada nacional o privada extranjera), del tipo de yacimiento explotado, etc. El cuadro que sigue examina el impacto diferenciado entre empresas de las distintas variables del ámbito macro.

Cuadro 2
IMPACTO EN LA COMPETITIVIDAD DE LAS EMPRESAS

Variable Macroeconómica	Codelco	SQM	Escondida	Pyme
↓ Tasa de Interés	o	+	o	+
↑ Tipo de Cambio	+	+	o/+	+
↑ Tasa Salarios	-	-	o/-	-
↓ Riesgo País	o	+	+	o
↓ Aranceles Importación	o	+	o	+

Examinemos brevemente el sentido de los indicadores que muestra el cuadro.

Las decisiones de inversión de CODELCO involucran la participación del Estado chileno, y por lo tanto tienden a reflejar el ciclo fiscal y las necesidades de financiamiento del gobierno central en medida no despreciable. Obviamente ello no pasa en el caso de las otras firmas del mercado. Escondida, se financia en múltiples ocasiones a partir de recursos de su casa matriz en el exterior, en tanto que SOQUIMICH y las empresas pequeñas y medianas del mercado captan capital domésticamente. En función de estas diferencias parece evidente que las variaciones en la tasa de interés habrán de afectar de manera distinta a los distintos núcleos empresarios activos en el sector del cobre chileno. Cabe destacar, además, que es mas generalizada en el ámbito privado que en el público la practica de cargar intereses sobre el capital invertido durante el período de implantación de nuevos proyectos lo cual también hace que el costo del capital - la tasa de interés - juegue un papel distinto entre firmas dependiendo de las prácticas de gestión que cada una emplea en sus programas de expansión.

El aumento en el tipo de cambio o en la tasa de salarios afecta mas marcadamente a las empresas con una mayor proporción de costos en moneda nacional. A su vez, la disminución de los aranceles de importación, incide menos sobre las empresas privadas que exportan la totalidad de su producción, como es el caso de Escondida, que no tienen dificultad para recuperar la totalidad de los derechos de importación efectivamente devengados (la mayor parte son diferidos y posteriormente anulados). Y así sucesivamente.

Del análisis anterior se desprende que la incidencia de las variables macroeconómicas tiende a ser mayor en el caso de las firmas grandes de capital chileno - SOQUIMICH entre las aquí examinadas - así como en el de las firmas de propiedad extranjera, Escondida, en nuestro caso. Las empresas de menor tamaño y CODELCO - por su naturaleza de empresa pública - parecen depender menos del impacto de las variables macroeconómicas. Esto tiende a reflejarse en diferencias de comportamiento. Las mas 'expuestas' al impacto de las variables macro son las que mas parecen haber aumentando su competitividad a través del tiempo, y ganado participación relativa al interior del sector, ya sea por ampliación de capacidad instalada (SQM y Escondida) como por vía de la diversificación de negocios (SQM). CODELCO, en cambio, ha visto fuertemente restringida su capacidad de inversión a lo largo de los últimos años a raíz de su inserción al interior del sector gubernamental chileno y de la fuerte dependencia que ello genera entre el ciclo fiscal y las necesidades de financiamiento del sector público vis a vis los requerimientos de inversión de la firma. Ha perdido terreno relativo dentro del sector, como también lo han hecho las firmas pequeñas y medianas de capital nacional.

Dejando ahora de lado el impacto de la macro, corresponde pasar a examinar el papel que en este medio juegan las variables de índole estrictamente sectorial y que conforman lo que aquí hemos denominado el 'régimen institucional y regulatorio' específico del sector minero.

Comenzaremos refiriéndonos a las restricciones de naturaleza física que provienen del yacimiento en sí, y que condicionan de manera crucial el comportamiento de los distintos núcleos empresarios aquí involucrados.

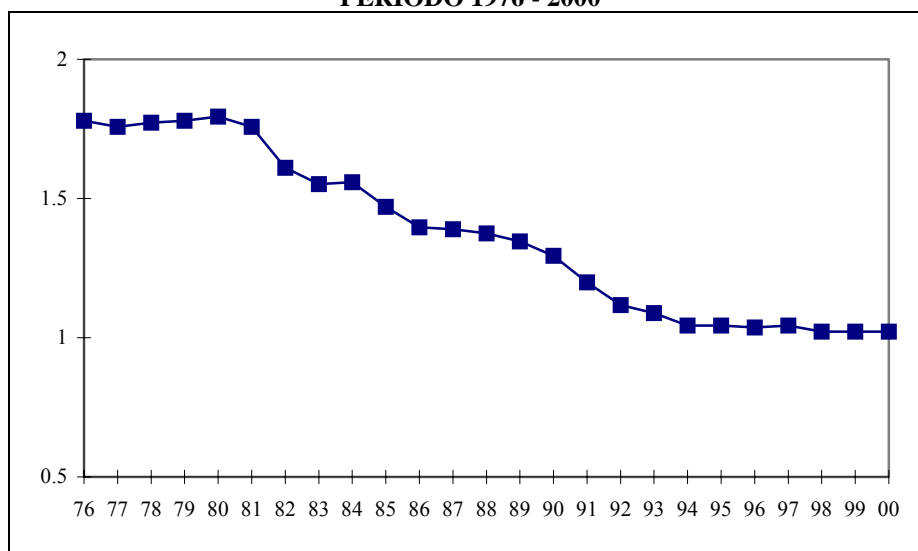
4. Lo meso y lo micro como condicionantes de la conducta empresarial

4.1. La naturaleza del yacimiento, como factor de restricción

Leemos, en un reciente artículo periodístico: "Se estima que Chuquibambilla se mantendrá produciendo por lo menos por otros 25 años, - su puesta en marcha data de 1915 - cuando la mina alcance más de un kilómetro de profundidad. Con este fin hay varios proyectos tendientes a asegurar las faenas durante ese tiempo....En más de 80 años Chuquibambilla ha entregado sobre 10 millones de Tn de cobre al país. Y pese a que todo indica que continuará brindando su riqueza es innegable que ha envejecido" (El Mercurio, 26 de Agosto 1998). El mismo artículo periodístico agrega: "...Ahora la producción está centrada en zonas primarias de más baja riqueza; por ello la ley del cobre ha descendido por debajo del 1% como consecuencia del agotamiento de áreas secundarias..." (Ibídem, El Mercurio).

De manera gráfica lo afirmado por dicho artículo periodístico puede ser descripto como sigue:

Gráfico 1
LEY DE COBRE (%) MINA CHUQUICAMATA
PERIODO 1976 - 2000



Fuente: MEB y proyecciones CODELCO.

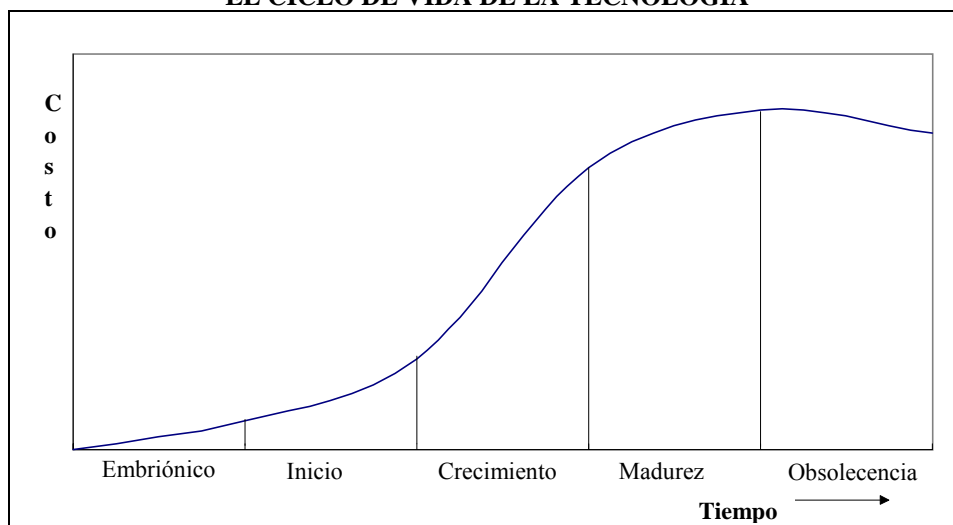
La cita de El Mercurio y el Gráfico 1 describen con claridad el factor de 'determinismo tecnológico' que rodea a esta actividad productiva. Ambos nos muestran que: 1.- Los yacimientos 'envejecen' y que su 'edad' está negativamente correlacionada con el rendimiento. 2.- Que la ley del mineral extraído va bajando en el tiempo y que la complejidad mineralógica del yacimiento va aumentando, 3.- Que, a raíz de lo anterior, los costos de explotación tienden a subir y, finalmente, 4.- Que la empresa efectúa esfuerzos encaminados a contrarrestar dicho rasgo estructural. ¿Cómo afecta todo esto la estrategia empresarial y cual es el impacto diferencial entre firmas de operar en base a yacimientos de distinta calidad? Lo hace induciendo esfuerzos de mejoras de proceso, por un lado y de prospección minera en busca de nuevos yacimientos, por otro. En ambas direcciones las diferencias de capacidad técnica entre empresas es grande y se convierte en factor crucial de su distinta performance de largo plazo. Veamos ambos temas por separado, comenzando por las mejoras de proceso.

El permanente avance tecnológico en materiales, equipos, instrumentación y técnicas de control lleva que sea factible introducir mejoramientos continuos en la tecnología que usan las empresas. Los mejoramientos más frecuentes dicen relación con el reemplazo de equipos tales como: compresores, celdas de flotación, molinos, correas, harneros, secadores, dosificadores, bombas, instrumentos, etc. Uno de los aspectos de mayor complejidad en la modernización de una planta de tecnología antigua es su automatización. En algunos casos es esta una tarea demasiado onerosa siendo más rentable continuar operando el yacimiento en forma manual con ayuda de instrumentación local. En el caso de procesos semi-automatizables, estos puede ser optimizados mediante la incorporación de técnicas de control experto, disponibles en el mercado, las cuales permiten ajustar el proceso en tiempo real teniendo en cuenta la experiencia acumulada en la operación. Como ejemplo de esto se puede citar el caso de la aplicación de tecnología

experta en la molienda SAG de Chuquicamata cuya introducción se remonta a 1991, luego que se realizara una campaña destinada a recoger información sobre la base de excitaciones preestablecidas de las variables de operación. A partir de esta información, se comenzó la automatización de la molienda de esta planta, que incluyó nuevos sistemas de dosificación de reactivos. Posteriormente, se desarrollaron estrategias de control experto, con la asesoría de una empresa especializada. Estas estrategias de control experto (Super SAG y Super Ball) fueron implementadas debido a que las técnicas de control automático no satisfacían las necesidades de maximizar la productividad de la planta. Esto, debido a que no incorporaban variables operacionales propias del mineral que explota Chuquicamata. La operación del sistema de control supervisor experto ha logrado incrementar el nivel de procesamiento de mineral, junto con mejorar la eficiencia metalúrgica producto de una granulometría de alimentación a flotación más estable, permitiendo contrarrestar la natural disminución de ley de mineral y el incremento de su dureza en el tiempo. Adicionalmente, este desarrollo ha permitido una operación más estable, con potencias empleadas al límite, evitando condiciones de riesgo y/o sobrecarga. El objetivo operacional de la estrategia Super SAG es: tomar acciones sobre el tonelaje fresco, agua y velocidad de la molienda SAG, a fin de mantenerla operando en torno a valores deseados. Por su parte, el objetivo de la estrategia Super Ball es: tomar acciones sobre el agua a pozo, a fin de mantener una operación que satisfaga un rango de valores deseados en los molinos de bolas.

Pese a que el mejoramiento continuo de la tecnología de procesos y de organización de la producción es parte consustancial de la estrategia empresarial en este campo de la actividad productiva resulta importante comprender que toda tecnología tiene un ciclo acotado de vida y que tarde o temprano debe ser reemplazada por una tecnología mas eficiente. El Gráfico 2 nos muestra que el típico ciclo de vida de una tecnología, puede ser representado por una función logística, la que nos dice que tras una fase de retornos crecientes al esfuerzo de mejoramiento de la misma irremediablemente aparecen fenómenos de ‘agotamiento’ en la eficacia marginal de los esfuerzos adaptativos y eventualmente se llega a un ‘plateau’ del que difícilmente la firma puede salir.

Gráfico 2
EL CICLO DE VIDA DE LA TECNOLOGÍA



De una reciente exposición de la Gerencia de I&D de CODELCO extraemos un ejemplo de como una dada tecnología puede ‘mejorarse’ en el margen, pero aun así estar sujeta a la presencia de rendimientos decrecientes en lo que al impacto de las mejoras de proceso se refiere. Se trata del uso de oxígeno en los reverberos, mejora que permitió bajar el consumo de combustible durante la fase de transformación. Dice P. Morales a este respecto (Morales, 1998, pág.6). “Sin embargo, al cabo de 4 años esta mejora agotó su ventaja competitiva llegándose a un ‘plateau’. Cuando se comenzó a inyectar concentrado seco, nuevamente cambió la pendiente de la curva y cayó el consumo de energía, pero también esto alcanzó luego su fase de madurez” Morales describe aquí con claridad la función logística previamente presentada. Vale la pena agregar a lo anterior el hecho de que las mejoras de proceso pueden alcanzarse tanto en base a asistencia técnica comprada a terceros como a partir de desarrollos de ingeniería internos a la firma. El mismo P. Morales aporta un ejemplo en este sentido en relación a la adquisición de sensores que permiten ir conociendo como se va alterando la pendiente del talud para prever dificultades en el curso de la explotación del yacimiento. A partir de tecnología (hardware) adquirida a terceros la firma pudo efectuar sus propios desarrollos de sistemas microsísmicos, actividad en la cual empleó cerca de dos años de esfuerzos experimentales y de investigación aplicada.

En resumen, los yacimientos sufren fenómenos de agotamiento, (afectando ello de manera distinta a diferentes empresas), hay retornos decrecientes a la mejora de procesos, hay estrategias diferenciales entre firmas en relación a efectuar dentro o fuera de la empresa las tareas de ingeniería y mejoramiento de procesos y, finalmente, hay también diferentes ritmos de aprendizaje y de desarrollo de la capacidad tecnológica interna de las distintas compañías. Todo ello hace que la historia tecnológica de cada empresa juegue un papel importante a la hora de ver como la morfología y comportamiento de la industria en su conjunto van cambiando a través del tiempo.

Así como el agotamiento de un yacimiento a través de los años, y las mejoras de proceso tendientes a frenar la caída secular de sus rendimientos, conforman una cara de la estrategia empresaria en este campo de la actividad productiva, la prospección en búsqueda de nuevos yacimientos con los que eventualmente reemplazar a los que van perdiendo rentabilidad, describe la otra cara de dicha estrategia. Examinemos brevemente este tema.

4.2. La búsqueda de nuevos yacimientos

Más de 80 compañías extranjeras y una veintena de firmas nacionales realizan prospección minera en Chile. Esta ha dado por resultado el descubrimiento de grandes yacimientos de oro y cobre. Según antecedentes del Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), hasta mediados de 1997, la cartera de proyectos mineros llegaba a 40, de los cuales 16 se encontraban en etapa de exploración. Asimismo, la actividad de exploración ha dejado en evidencia otros 32 depósitos de cobre y 18 de metales preciosos, los que se encuentran en etapa de evaluación.

Los presupuestos promedio de inversión de las principales empresas extranjeras se sitúan entre 2 y 3 millones de dólares por año. El país cuenta con unos 900 geólogos, de los cuales unos

680 (Colegio de Geólogos de Chile, 1998) trabajan en esta actividad. Por otra parte, el último anuario del Sernageomin indica que hasta fines de 1996 se habían otorgado 14.382 concesiones de exploración para un total de 5.703.298 hectáreas.

Para los especialistas, el auge de la exploración minera en Chile, y por ende, de la actividad minera, radica principalmente en la extraordinaria calidad de los yacimientos, incluso comparativamente con otros del mismo tipo (cobre, oro, polimetálicos, etc.) en países vecinos. La exploración que se ha realizado en Chile ha sido probablemente una de las más exitosas del mundo en los últimos 25 años. Los expertos también opinan que la excelencia del ambiente geológico, en que se ubican los pórfidos cupríferos chilenos, las megaestructuras relacionadas con la mineralización, la definición de la franja andina de metales preciosos entre la Segunda y Sexta regiones, y los extensos salares en el norte de Chile, definen claramente el potencial minero del país para el próximo siglo.

Según un estudio reciente (Sernageomin, 1998), el total invertido en exploración minera en Chile entre los años 1992 y 1996 alcanzó los US\$ 684 millones, de acuerdo al detalle por origen de los recursos que se presenta en el cuadro a continuación.

Cuadro 3
GASTOS EN EXPLORACIÓN EN CHILE POR ORIGEN DE RECURSOS
Millones de US\$

Origen	1992	1993	1994	1995	1996
Australia		14	17	19	17
Canadá		39	70	77	92
Chile		17	17	21	21
Europa		22	22	26	26
USA		15	12	14	22
Total	106	106	138	157	178

Fuente: Sernageomin "Tendencias en la exploración en Chile".

El trabajo de Sernageomin alcanzó una cobertura de 47 empresas que operaban en el país y que en su conjunto concentraban un 78% de la superficie otorgada en concesiones de exploración en Chile. La categoría Chile del cuadro anterior sólo contempla las empresas públicas (CODELCO y Enami), donde CODELCO tuvo un gasto de 15,5 millones en 1993, 17 millones en 1994, 15 millones en 1995, 20 millones en 1996 y de 22,5 millones de dólares en 1997.

Las técnicas de exploración minera han mejorado considerablemente en la última década, siendo posible predecir la existencia de yacimientos subterráneos antes de comenzar a perforar. Actualmente se utiliza como herramienta base la fotografía satelital junto con las cartas geológicas. Hace 10 años la fotografía satelital era utilizada en Chile solo por empresas

extranjeras (Ej.: En el año 1980 Bernstein y Thomson Exploraciones, en sus labores de exploración en Chile, utilizaba cubiertas de imágenes satelitales del tipo MSS y Thematic Mapper, las cuales eran tratadas digitalmente en Sud Africa, obteniendo transformaciones que hacen resaltar la arcilla y limonita generada por los procesos de alteración hidrotermal). Dichas tecnologías, sin embargo, no eran aún utilizadas por las firmas locales existiendo un retraso tecnológico de aproximadamente 10 años en esta materia. Otros avances tecnológicos en esta área han sido: instrumentos portátiles y de bolsillo (GeoExplorer, GPS PathFinder, Aspen-GPS, etc.) que proporcionan la posición geográfica en forma muy exacta lo cual facilita enormemente la tarea de recolección de muestras superficiales, técnicas sismográficas para la búsqueda de recursos hídricos, y lo que ha sido más relevante es la incorporación de diferentes paquetes computacionales (Factory Suite, AcQuire, Gpick32, Micromine 3D, Achieve, Vulcan, Minescape, Pcmine, Pcexplor, Geomodel, Minesurvey, Gemsolid, Gemplot, etc.) que a partir de la información de sondeos permiten modelar el yacimiento y planificar su explotación óptima junto al manejo de la información topográfica histórica y diaria en tres dimensiones. El rezago tecnológico con que Chile opera en este campo se ha reducido considerablemente en años recientes. Por ejemplo, la nueva línea 1998 de softwares para control de producción y exploración de la empresa norteamericana Wonderware fue lanzada al mercado en forma casi simultánea en Chile y en Estados Unidos (Minería Chilena, febrero 1998).

El alto monto de inversión anual en prospección minera que se realiza en Chile ha motivado la formación de empresas especializadas que prestan servicios de geología, de perforación e incluso de corretaje de proyectos mineros. En otros términos: el desarrollo de la industria ha ido creando y profundizando mercados en torno a ella, haciendo que la trama productiva local se volviera crecientemente sofisticada y madura.

Pese a que el retraso tecnológico en materia de prospección minera se ha reducido significativamente en años recientes, resulta válido afirmar que las firmas nacionales funcionan como imitadoras de las nuevas tecnologías de prospección disponibles en los mercados mundiales. Un claro ejemplo de esto puede hallarse en la prospección submarina, campo en el que se han constituido siete consorcios internacionales que han realizado, cada uno de ellos, fuertes inversiones en exploración y en desarrollo tecnológico. Las compañías asociadas a estos consorcios son de los siguientes países: Alemania, Bélgica, Canadá, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Holanda, Italia y Japón. Los consorcios desarrollaron técnicas especiales para ubicar, cuantificar y evaluar los mejores yacimientos de nódulos de manganeso (óxidos minerales que semejan papas negras de 0,5 cm a 0,25 cm de diámetro que se encuentran disgregados en la superficie de los fondos oceánicos y que contienen metales útiles como: manganeso, hierro, níquel, cobre, cobalto, cinc, titanio, molibdeno, etc.) en el Pacífico Norte. La exploración se efectúa desde naves dotadas de equipos sofisticados que realizan una batimetría detallada, toman fotografías, recogen muestras y realizan los análisis químicos a bordo. Las técnicas de explotación de los nódulos de manganeso están en desarrollo, habiéndose probado algunas de ellas a nivel de escala piloto (1.000 toneladas por día desde 5.000 metros de profundidad). Los consorcios esperan realizar explotaciones comerciales dentro de un lapso no superior a 5 años. Chile posee una Zona Exclusiva de 3.490.173 km², equivalente a casi 5 veces la superficie de

Chile continental, pero es poco lo que ha logrado avanzar en esta materia. A partir del año 1993, la Armada de Chile dispone de un buque de investigación oceanográfica, sin embargo, no cuenta con saca-testigos (piston-core, gravity-core, box-core), ni palas, dragas, etc. para obtener muestras del fondo. Junto a otros que se examinan posteriormente, este de la prospección minera, y en particular, la submarina, constituye un campo en el que la estrategia minera de largo plazo de Chile parece requerir un replanteo significativo si el país desea asumir un rol protagónico en los escenarios mundiales del cobre de las próximas décadas.

En resumen, y como conclusión de esta sección, en la medida que los yacimientos envejecen se van necesitando inversiones cada vez más grandes sólo para mantener los niveles históricos de rendimiento de los mismos. Esto, debido a la necesidad de procesar una cantidad mayor de mineral, de ley decreciente, para lograr los mismos resultados que antes, y a la necesidad de introducir mejoras de proceso para tratar un mineral cada vez más complejo. Tanto CODELCO como SQM han estado realizando esfuerzos importantes en esta dirección; no así Escondida que cuenta con un yacimiento nuevo de muy alta calidad. Adicionalmente, las empresas se ven en la necesidad de buscar nuevos yacimientos con los que reemplazar a los que van perdiendo rentabilidad o bien para eventualmente aumentar su capacidad de producción.

El cuadro a continuación sintetiza estas dos caras del comportamiento empresario relacionadas por un lado, con el factor de ‘determinismo tecnológico’ que nos impone la naturaleza misma de los yacimientos en explotación y, por otro, con la exploración en búsqueda de nuevos yacimientos.

Cuadro 4
REQUERIMIENTOS DE INVERSIÓN Y DINAMISMO TECNOLÓGICO DERIVADOS DE LA NATURALEZA DE LOS YACIMIENTOS EXPLOTADOS POR CADA EMPRESA

Variable	CODELCO	SQM	Escondida	Pyme
Requerimientos Inversión	alto	medio	bajo	alto
Dinamismo Empresarial	medio	alto	bajo	bajo
Prospección Nuevos Yac.	alto	alto	medio	bajo
Mejoras Continuas	alto	alto	medio	bajo
Compra Yac. Terceros	bajo	alto	bajo	bajo
Apertura / Cierre Yac.	bajo	alto	bajo	alto

Tal como muestra el cuadro anterior, existen significativas diferencias entre los principales actores de plaza en lo que hace al impacto que el agotamiento de los respectivos yacimientos tienen sobre las conductas tecnológicas - mejora de procesos y prospección minera - y de inversión de las empresas. Las debilidades y fortalezas respectivas de cada uno de dichos actores resalta con claridad condicionando el sendero de desarrollo del sector minero chileno. Sobre este tema volveremos algo mas adelante, en la sección final del trabajo, al imaginar posibles escenarios futuros en esta materia.

Habiendo hasta aquí examinado el papel que cumplen, por un lado, las variables macroeconómicas y , por otro, las microeconómicas relacionadas con la naturaleza física de cada yacimiento, como determinantes del cuadro global de funcionamiento sectorial, corresponde ahora hacer lo mismo con el ‘régimen’ institucional y tecnológico en que funciona la industria. Al estudio de estos temas nos dedicamos a continuación.

III. EL PAPEL DE LOS FACTORES MESOECONÓMICOS COMO DETERMINANTES DE LA CONDUCTA EMPRESARIA

Tal como se dijera en secciones anteriores de este trabajo Chile instrumenta a partir del fin de los 1970s y en el curso de los 1980s una sucesión de cambios institucionales que tomados conjuntamente acaban por modificar de manera radical el régimen global de incentivos en que opera el sector minero. Algunos de dichos cambios son de carácter genérico y no están directamente relacionados con la industria minera, pero sin duda inciden sobre los agentes económicos aquí involucrados, como por ejemplo el Decreto Ley 600 sobre Inversión extranjera o los Capítulos XIV y XIX del Compendio de Normas de Cambios Internacionales del Banco Central de Chile, relacionados con el ingreso de divisas y créditos externos - el primero - y con los mecanismos de conversión de la deuda externa, el segundo.

Otros, en cambio, son mas específicos del sector como en el caso de la legislación sobre propiedad sobre los recursos mineros o la reglamentación del régimen impositivo en que opera esta industria, aspectos que están íntimamente ligados a la rentabilidad de las firmas mineras y al ‘clima’ de seguridad institucional en el que las mismas pueden programar su inversión de largo plazo. También pertenecen al plano de lo mesoeconómico el tema de la formación de recursos humanos calificados, y el del comportamiento de los proveedores de equipos y firmas de ingeniería, ambos relacionados con el funcionamiento de lo que deberíamos caracterizar como el ‘sistema innovativo’ particular que subyace bajo el comportamiento sectorial. En el presente capítulo examinaremos estos temas de índole ‘meso’.

1. La legislación minera

El marco jurídico que regula la minería chilena está constituido, fundamentalmente, por la Constitución Política, artículo 19, N^o 24, incisos de 6^o al 10^o, Ley Orgánica y Constitucional sobre Concesiones Mineras (Ley 18.097) y el Código de Minería de 1983. La Constitución Política de 1980 declara que el Estado tiene el dominio absoluto, exclusivo, inalienable e imprescriptible de todas las minas, con excepción de las arcillas superficiales. Luego, la Carta Fundamental dispone que una ley con carácter de orgánica constitucional determinará qué sustancias, con excepción de los hidrocarburos líquidos o gaseosos, pueden ser objetos de concesiones de exploración y explotación, las cuales se constituirán y extinguirán por resolución judicial. La duración de dichas concesiones, los derechos y obligaciones que de ellas emanen y su forma de amparo quedaron entregados a lo que dispuso dicha ley. Finalmente, la Constitución establece que el dominio del titular de la concesión está protegido por la garantía constitucional del derecho de propiedad. A su vez, la mencionada ley orgánica constitucional abordó, los temas

dispuestos en la Constitución y, a su turno, el Código de Minería, que entró en vigencia en forma simultánea con la referida ley en el año 1983, explícita en forma detallada las disposiciones de la referida ley orgánica. En términos generales, los principios básicos que caracterizan la legislación minera chilena se pueden resumir de la siguiente forma :

- Amplias facultades para la exploración minera.
- Libre denunciabilidad de la mayoría de las sustancias mineras.
- Solidez de los derechos de propiedad emanados de las concesiones.
- Seguridad en los procedimientos constitutivos.
- Certeza en la conservación de la concesión y sistema de amparo objetivo.

Desde el punto de vista de la comunidad empresaria la legislación minera es considerada como una buena combinación entre los intereses del país y las garantías y seguridades que requiere el inversionista minero para encarar proyectos de largo plazo que requieren cuantiosas inversiones y donde el cronograma de recuperación de la inversión es seguramente mas lento que en el promedio de la actividad económica. Estamos, de todas maneras, en un campo en el que el punto de equilibrio entre el interés privado y el ‘óptimo social’ es sumamente difícil de identificar y donde la política pública se mueve con un margen de incertidumbre y aleatoriedad difícil de resolver exclusivamente en el plano técnico. Mucha regulación desalienta la inversión y poca genera usos no óptimos (desde el punto de vista social) de un recurso no renovable, pero el punto divisorio entre ambas situaciones es sumamente difícil de determinar a priori. Algo semejante ocurre en lo que hace al régimen impositivo en el que opera el sector, como veremos a continuación.

2. El régimen impositivo

El sistema tributario chileno aplica un 15% de impuesto a las utilidades de cualquier empresa minera (nacional o extranjera) con ventas superiores a US\$ 3,5 millones anuales. Un impuesto adicional de 20% se aplica a los dividendos y retiros de utilidades realizados por las compañías que no están amparadas por el Estatuto de Inversión extranjera DL 600. Las empresas extranjeras acogidas al DL 600 pueden optar por un régimen de impuesto fijo (por un plazo de 10 años y por no someterse a la legislación general), pudiendo luego cambiar al régimen general pero sólo por una única vez. Existen al menos dos caminos legales que las firmas de capital extranjero pueden seguir para ‘manejar’ la carga impositiva que enfrentan: a.- Registrar préstamos de su casa matriz o b.- Declarar pagos de royalties o licencias tecnológicas, en ambos casos a tasas más altas que las ‘normales’ del mercado. Ambos caminos acaban mostrando en el plano contable costos locales de producción superiores a los efectivamente devengados, hecho que redundará en una menor masa de excedente imponible.

Amén de lo anterior, otro rasgo importante del ‘régimen institucional’ sectorial que afecta significativamente la conducta empresaria en este campo dice relación con la posibilidad que tienen las firmas mineras de organizarse como “sociedades contractuales mineras”, lo cual las faculta a postergar el pago del impuesto de primera categoría (15%) hasta que no converjan las

utilidades financieras con las tributarias, admitiendo un régimen de depreciación acelerada de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro 5
REGÍMENES DE DEPRECIACIÓN NORMAL Y ACELERADA
(Años)

Depreciación	Normal	Acelerada
Equipos pesados de minería	10	3
Costos de instalación	5	1
Construcción de instalaciones permanentes	25	8
Construcción de instalaciones temporales	10	3
Camiones pesados	7	2
Equipos pesados de minería	10	3
Herramientas pesadas	5	1

Al igual que con los temas de legislación minera previamente mencionados este rasgo del marco institucional en que opera la industria - el poder constituirse legalmente como sociedades contractuales - ha permitido que el sector funcionara en el curso de los 1990 con altas tasas de rentabilidad sobre el capital invertido, mayores sin duda de las que se hubieran obtenido en caso de que la industria minera hubiera estado sujeta a las generales de la ley. Ello eventualmente hubo de dar pie a un debate importante sobre la conveniencia o no de aplicar en Chile un impuesto especial a los recursos no renovables. Pese a que dicho debate no ha progresado en las esferas legislativas y parlamentarias de la sociedad ha contribuido si a crear sensación de incertidumbre entre los distintos operadores del sector, afectando las expectativas de largo plazo de los mismos y sus expresiones en el debate político nacional. En septiembre de 1996 el Ministro de Minería, Sergio Jiménez, en una entrevista a Boletín Minero expresaba: “No está en estudio la modificación del régimen tributario... queremos aplicar bien las leyes nada más”. En marzo de 1998, el mismo Ministro Jiménez, en una entrevista al Directorio Minero 1998 señala, refiriéndose al anunciado estudio de tributación minera: “Otro de los grandes alcances que podría tener esta revisión, es proponer que las empresas mineras contractuales se transformen en sociedades anónimas. Esto no sólo podría cambiar la situación tributaria, sino además la situación de mercado, ya que este esquema permitiría el ingreso de capitalistas chilenos y sectores, como por ejemplo las AFP”. Los opositores a tales medidas, como el ex Ministro de Hacienda, Hernán Büchi (Boletín Minero, febrero 1998), han manifestado: “Si por la aplicación de la ley resultara que una forma de sociedad (la de personas) puede retirar capitales cuando existen pérdidas tributarias sin pagar impuestos, lo que parece de toda lógica es que si otra forma de sociedad (la anónima) no puede hacerlo, lo que corresponde es que se modifique el criterio vigente en el sentido de facilitar este retiro sin tributar a todo tipo de sociedades, y no a la inversa que es intentar que las sociedades mineras se constituyan como sociedades anónimas para lograr un mayor pago de impuestos.” Como podemos ver, estamos en un territorio en el que las

diferencias de opinión son francamente marcadas y en el que el debate institucional de fechas recientes no parece haber alcanzado progresos sustantivos.

Cerramos aquí nuestra discusión de los aspectos de legislación minera y de tratamiento impositivo que hacen al ‘régimen institucional y regulatorio’ en que funciona esta industria. Otro aspecto de importancia en lo que se refiere a variables ‘meso’ que condicionan la conducta económica y tecnológica de las empresas mineras hace al conjunto de esfuerzos que realiza Chile en la formación de recursos humanos calificados especializados en minería, tema que también tiene importancia a la hora de estudiar el comportamiento de las empresas del sector. Al análisis de ello nos dedicamos a continuación.

3. La formación de recursos humanos calificados

El sistema de educación superior chileno cuenta con 67 universidades, 25 de ellas pertenecientes al Consejo de Rectores y las 42 restantes ligadas al ámbito privado. A ello deben sumarse los 73 institutos profesionales privados y los centros de formación técnica, que llegan a 127.

Las ingenierías muestran un abanico amplio de posibilidades, que contemplan desde la ingeniería civil en minas, hasta áreas de conocimiento más específicas, como la ingeniería metalúrgica extractiva. Estos estudios se dirigen especialmente a la planificación, supervisión, administración de operaciones, estudios y dirección de labores extractivas, especialmente en la mediana y gran minería, metálica o no metálica.

A estas se suman también en el ámbito universitario la cartografía, la ingeniería en geomensura, la ingeniería metalúrgica y la ingeniería química.

En el sector de los institutos profesionales, igual que en los centros de formación técnica, la preparación de los futuros profesionales y técnicos se focaliza hacia áreas de conocimientos más específicas y parcializadas, como topografía, entre otras. Esta realidad es particularmente aplicable a pequeños centros de formación técnica dedicados a satisfacer la demanda de preparación del recurso humano en aquellas regiones de alto potencial y presencia del sector minero.

Pese al amplio espectro de alternativas de formación de recursos humanos existente en Chile para el sector minero-metalúrgico, el proceso de formación de técnicos y profesionales ha sido objeto de diversas críticas tanto por parte del Instituto de Ingenieros de Minas de Chile como por parte de las mismas empresas mineras. Entre otras cuestiones se ha señalado lo siguiente:

- Falta de motivación de los alumnos por ingresar a estas carreras, especialmente en la metalurgia.
- Exceso de oferta en las vacantes universitarias.
- Falta de criterio o visión de futuro en los planes de estudio.
- Obsolescencia en la mayoría de los laboratorios.
- Notoria falta de docentes, lo que afecta gravemente la calidad de la enseñanza.

Debido a las deficiencias del sistema actual de enseñanza las empresas mineras grandes han desarrollado escuelas tecnológicas, asociadas a universidades, para ofrecer preparación técnica a los operarios y trabajadores del sector minero. Este es el caso de la mina Inés de Collahuasi con la Universidad Arturo Prat y la mina La Escondida junto a la Universidad Antofagasta. CODELCO por su parte, firmó un convenio con la U. de Chile para la formación de diplomados en áreas de interés para CODELCO, en el cual se traen profesores especializados del exterior. Junto con CODELCO, otras empresas mineras han aportado recursos, lo que suma US\$ 3 millones como inversión inicial y US\$ 100 mil anuales por cátedra. De las seis nuevas cátedras reciben el patrocinio de CODELCO dos de ellas, las de Tecnología Minera y de Evaluación de Yacimientos. ENAMI patrocina la de Pirometalurgia, Phelps Dodge la de Procesamiento de Minerales, Minera El Abra la de Hidro-Metalurgia y Doña Inés de Collahuasi la de Geomecánica y Geotécnica. Las nuevas instalaciones de la U. de Chile fueron inauguradas a fines de 1997.

4. Las firmas de ingeniería

Actúan en el sector minero chileno tanto firmas locales de ingeniería como también grandes empresas internacionales, especializadas en la ejecución de megaproyectos mineros. El papel de unas y otras en el mercado domestico es significativamente distinto, como veremos a continuación.

Las firmas locales se desempeñan prioritariamente en la implementación de procesos o sistemas desarrollados por el usuario o por terceros, ya sea organismos de investigación o proveedores de equipos, en forma individual o conjunta. Por lo tanto, se trata de empresas que actúan como intermediarias entre quien tiene la tecnología - usualmente una firma de ingeniería de escala internacional - y quien desea incorporada a un proyecto. Las firmas de ingeniería adoptan el rol de ejecutoras en la implantación de estos sistemas, procesos o equipos.

Si nos atenemos al crecimiento de los planteles profesionales y técnicos de las principales firmas locales de ingeniería - que ha sido muy poco significativo en el curso de la última década, como podemos ver en el Cuadro 6 – podríamos concluir pensando que la rápida expansión de las inversiones mineras de los años 1990 solo ha tenido un efecto marginal sobre este grupo de empresas. En efecto, la gran mayoría de las fuertes inversiones recientemente realizadas en Chile en el campo minero ha estado asociada a procesos y tecnologías provenientes del exterior, y ello hubo de redundar en la rápida expansión de los planteles técnicos y profesionales de las firmas de ingeniería extranjeras, como puede verse en el Cuadro 7. Sin embargo, la llegada al país de estas últimas conjuntamente con la inversión extranjera directa, hubo de generar un impacto significativo sobre la capacidad tecnológica local en la materia, no solo por vía del personal local que las mismas contrataron, sino también a través de la difusión de conocimientos técnicos de gestión de grandes proyectos de ingeniería que fuera tomando cuerpo en el medio minero chileno en el curso de los años 1990.

Cuadro 6
EVOLUCIÓN DE LA DOTACIÓN DE PERSONAL EN LAS EMPRESAS
NACIONALES DE INGENIERÍA
(número total de personas)

Nombre	1992	1994	1996
ARA	402	307	428
B y R	200	155	170
Cade Idepe	311	391	491
ESEDEI	76	85	72
G + V	66	42	30
INCH	-	22	28
JRI Ing.	124	121	136
Minmetal	460	381	403
Total	1.639	1,504	1.758

Cuadro 7
EVOLUCIÓN DE LA DOTACIÓN DE PERSONAL EN LAS EMPRESAS
INTERNACIONALES DE INGENIERÍA
(número total de personas)

Nombre	1992	1994	1996
Davy Internacional	76	120	368
Fluor Daniel	150	350	700
Bechtel		2.152	6.178
Total	226	2.622	7.246

Los Cuadros anteriores refirman el hecho de que los megaproyectos mineros de reciente implantación en Chile han utilizado pocos servicios locales de ingeniería y en cambio han estado fuertemente asociados a la expansión local de grandes firmas de ingeniería de orden mundial. Se diferencia en este sentido la conducta de CODELCO que, por política interna, reclama una participación de la ingeniería local en los grandes proyectos mineros hasta absorber aproximadamente una cuarta parte del valor de los mismos. Esto ha forzado a las firmas locales de ingeniería a asociarse a firmas internacionales, como en el caso de ARA que, para la realización del proyecto de la división Radomiro Tomic de CODELCO hubo de asociarse con Davy International, una de las mayores firmas mundiales del ramo.

A diferencia del caso de CODELCO Minera Escondida prácticamente no ha utilizado servicios locales de ingeniería, habiendo contratado los servicios de la empresa internacional Fluor Daniel, tanto en el proyecto inicial como en las distintas etapas de expansión realizadas con posterioridad.

En el principal proyecto desarrollado por SQM, proyecto Minsal con una inversión de US\$ 300 millones, se contrataron los servicios de ingeniería de la empresa local ARA. En otros proyectos de menor relevancia se han contratado indistintamente los servicios de ingeniería a cualquiera de las empresas locales de ingeniería o a las empresas internacionales Davy International y Fluor Daniel. Esto, dependiendo de los resultados de las licitaciones privadas que se han realizado en cada caso. La mayor parte de los servicios de ingeniería contratados por SQM en sus operaciones tradicionales han involucrado aspectos de ingeniería básica y de detalle, habiéndose desarrollado internamente el proceso, los estudios de factibilidad y la ingeniería conceptual.

CODELCO, por su parte, tradicionalmente contrataba externamente los servicios de ingeniería, tanto Conceptual y Básica, como de Detalle. Esta situación fue modificada por política interna luego de la revisión a la cual fue sometido el estudio de factibilidad realizado por la consultora internacional Bechtel del proyecto Radomiro Tomic, revisión que implicó importantes modificaciones y un retraso de 1,5 años. Es así como a partir del año 1995 CODELCO realiza en forma interna la ingeniería conceptual de sus proyectos relevantes y aporta una parte significativa de la ingeniería básica (Ingeniería de Enlace).

En resumen, previo al auge minero de los años 90, las empresas locales de ingeniería no contaban con la experiencia ni los recursos necesarios para implementar grandes proyectos de inversión. La situación actual es diferente tras el rápido crecimiento de la industria y la puesta en marcha de grandes proyectos mineros a lo largo de la corriente década y la difusión en el medio doméstico de conocimientos de logística y organización del trabajo que previamente no se manejaban con soltura en el medio local. A partir de la fuerte expansión de la demanda por servicios de ingeniería se registra un importante proceso de maduración en el ámbito de las firmas locales que hace que en la actualidad muchas de éstas estén en condiciones de enfrentar con éxito proyectos mineros significativamente mayores a los podían ejecutar solo pocos años atrás. La experiencia acumulada y la reciente caída de la demanda por servicios de ingeniería en Chile, ha impulsado a muchas de las firmas chilenas de ingeniería a buscar nuevas alternativas de negocios ofreciendo sus servicios en otros países latinoamericanos. Esto constituye un fenómeno novedoso que convendría apoyar de cara al futuro.

5. Los fabricantes de equipos y sus representantes locales

En el curso de los años 1970, y conjuntamente con el proceso de nacionalización del cobre, emergen en Chile un sinnúmero de firmas locales de representación comercial de grandes empresas mundiales productoras de equipos pesados para la minería. Ello posibilitó el suministro local de una serie de insumos, equipos y repuestos que previamente debían ser adquiridos en el exterior por parte de las empresas mineras que operaban en Chile. Pese a que en un comienzo dichas firmas de representación solo actuaban como casas comerciales muchas de ellas fueron gradualmente acumulando experiencia y conocimientos en el campo de lo tecnológico, hecho que les permitió comenzar a brindar diversas formas de asesoramiento técnico a las empresas mineras. Este proceso de acercamiento tecnológico entre proveedores locales de insumos

intermedios, equipos y repuestos y firmas mineras adquiere mayor significación en la década de los años 1990 ante el creciente dinamismo que experimenta el sector. Muchas de estas firmas expandieron sus elencos técnicos y profesionales y profundizaron su capacidad de ingeniería con el fin de proveer de servicios tecnológicos complementarios a la inversión en equipos.

Los megaproyectos de los años 1990 no solo han implicado la importación y puesta en funcionamiento de grandes equipos de producción sino también de flotas de camiones mineros, cargadores frontales, perforadoras y otros que demandaron la puesta en práctica de nuevos conceptos de atención técnica bajo la forma de contratos de suministro con mantenimiento y reparación incluida, los cuales dieron origen a centros de reparación de componentes, a prácticas de mantenimiento preventivo previamente no utilizadas, etc. La mayor parte de los capitales requeridos para la adquisición de modernos sistemas de procesamiento y transmisión de datos, herramientas, instrumental de diagnóstico, equipos de telecomunicaciones, etc., han provenido del exterior.

El desafío que ha implicado el constante avance tecnológico de los equipos representados, ha sido el de contar con personal profesionalizado, eficiente y entrenado que permitiera al proveedor de las máquinas y el material de transporte asegurar que estos prestarían el mejor servicio posible a los clientes. Ello hubo de requerir esfuerzos permanentes de entrenamiento y perfeccionamiento profesional en este tramo del mercado.

No son pocas las empresas nacionales de representación que habiendo transitado a lo largo de los años 1990 por un proceso de aprendizaje tecnológico como el previamente descrito han sido recientemente compradas por empresas internacionales. Junto a ellas es dable observar también la presencia de una nueva ‘camada’ de firmas proveedoras de equipos y servicios a la producción que llegara al país con la intención de participar en el fuerte proceso expansivo del sector minero.

Normalmente, los avances tecnológicos desarrollados en el exterior son puestos en conocimiento de los potenciales clientes mediante visitas periódicas, seminarios, folletos, ferias (expomin y exponor), presentaciones, convenciones, etc.; y se ofrece la ejecución de pruebas en laboratorio o pruebas en terreno para demostrar las bondades de las nuevas tecnologías.

Junto con lo anterior, se han creado numerosas actividades de especialidad como lo son: servicios de mantenimiento de equipos mineros, reacondicionamiento de equipos usados, (Ej.: chancadores); servicios de instrumentación y control; movimiento de cargas; arriendo de equipos, maquinarias, herramientas, vehículos y camionetas; envases especiales; pinturas especiales; implementos de seguridad; servicios de perforación y tronadura; servicios de capacitación y entrenamiento de personal; servicios de alimentación, servicios de análisis químicos y mineralógicos, tratamiento de aguas, disposición de riles, control de emisiones, ventilación industrial, fabricación de calderas, etc.

El proceso de maduración sistémica que estamos describiendo involucra un nuevo patrón de interacción entre proveedores de insumos, equipos y repuestos y firmas mineras en el que

aquellos están cada vez mas incorporados en las propias faenas mineras, interiorizándose de los problemas y potenciales soluciones a los mismos y participando cada vez mas en los desarrollos y mejoras tecnológicas introducidos por las firmas mineras.

El cuadro que presentamos a continuación resume los distintos tipos de influencias (altas o bajas) que las fuerzas mesoeconómicas han tenido en el sector minero, y las diferencias que entre firmas es dable observar a este respecto. Tal como podemos observar también en este caso - como ya ocurriera en lo que hace al impacto de las variables macroeconómicas - encontramos que lo meso ejerce un impacto diferencial entre firmas, siendo el carácter (nacional o extranjera) de la firma, su naturaleza (pública o privada) y su dimensión ('grande' o pyme) importantes para decidir de que manera lo mesoeconómico influye sobre el comportamiento empresarial.

Cuadro 8
GRADO DE INFLUENCIA (ALTA O BAJA) DE LO MESOECONÓMICO
SOBRE LAS DISTINTAS EMPRESAS MINERAS

Factor Mesoeconómico	CODELCO	SQM	Escondida	Pyme
Legislación Minera	baja	alta	alta	alta
Régimen Impositivo	baja	alta	alta	alta
Formación Rec. Humanos	alta	alta	alta	baja
Firmas de Ingeniería	alta	alta	baja	baja
Fabricantes y Rep. Equipos	alta	alta	baja	baja

La legislación minera y el régimen impositivo no parecen afectar mayormente a CODELCO dada su naturaleza de empresa pública. No así en todos los otros casos en los que, como ya hemos visto, dichos componentes del marco regulatorio sectorial tienen una influencia crucial en el comportamiento de las empresas. El papel de las firmas locales de ingeniería y de las casas de representación comercial de grandes productores mundiales de equipos, repuestos e insumos para el sector minero no parece ser de importancia en el caso de Escondida firma que hasta la fecha ha contratado siempre los servicios de ingeniería de empresas internacionales y puede acceder directamente a los fabricantes de equipos sin mayor intermediación local.

La pequeña minería no parece estar mayormente influida por los temas de formación de recursos humanos o por el papel que en este mercado cumplen las firmas de ingeniería o los representantes comerciales de firmas productoras de equipos. Debido a los escasos recursos de inversión que manejan se hallan francamente marginadas de los procesos de modernización tecnológica.

Habiendo hasta aquí examinado el papel de los factores mesoeconómicos como determinantes del desarrollo evolutivo de largo plazo del sector minero proseguimos en nuestro próximo capítulo con el análisis de las diferencias de comportamiento observables entre firmas particulares.

IV. EL PAPEL DE LO MICROECONÓMICO EN EL COMPORTAMIENTO DEL SECTOR MINERO

1. Diferencias de comportamiento tecnológico entre empresas

1.1. CODELCO

El proceso evolutivo de CODELCO ha estado fuertemente marcado a través de su historia por su adscripción al sector público chileno. El hecho de tener que transferir regularmente al fisco sus excedentes de explotación, el haber ido desarrollando a través del tiempo conductas lentas y burocráticas - propias del comportamiento de empresas públicas que no enfrentan riesgos potenciales de quiebra y no basan su desempeño en reglas convencionales de mercado - el tener que responder a convenios laborales y relaciones sindicales en los que priman el 'seniority' y el paternalismo, mas que las señales de eficiencia, acabaron por constituir una empresa que, pese a ser la más grande del mundo en materia de explotación de minas de cobre, estaba claramente alejada del 'estado del arte' internacional en la materia.

Entrados ya en los años 1990, y planteado el debate en torno a la conveniencia, o no, de su privatización, esta firma se veía enfrentada a leyes declinantes en sus yacimientos, sobredotación ocupacional, limitaciones financieras para abordar nuevos proyectos de inversión y a un compromiso - asumido por una nueva administración - de reducir costos operativos en casi un 30% en un plazo de seis años junto con alcanzar una productividad física en el entorno a las 80 toneladas de cobre por año por trabajador. En los hechos la posibilidad de lograr dichas mejoras se plantea como contra argumento frente a quienes sostienen que la única manera de aumentar la eficiencia es transferir la empresa al ámbito privado de la sociedad. Conviene también tener presente que todo lo anterior ocurre en un escenario profundamente dinámico en el que los principales competidores de CODELCO en el mundo están desarrollando proyectos con costos de producción altamente competitivos, algunos a las mismas puertas de dicha empresa. En efecto, a apenas unos centenares de kilómetros de Chuquicamata (principal centro productivo de CODELCO), se encuentran algunos de los mejores ejemplos a nivel mundial: Cerro Colorado, Escondida y Quebrada Blanca. Adicionalmente, Minera Escondida anunciaba su programa de inversiones para sobrepasar la producción de Chuquicamata en un par de años, mientras que Anglo American y Falconbridge afinaban detalles para iniciar la construcción de Collahuasi, con costos de producción del orden de medio dólar la libra de cobre.

La revitalización de la inversión, la introducción de cambios organizacionales y un profundo replanteo de la estrategia tecnológica de la firma se imponían ante tales condiciones. En

las tres direcciones CODELCO muestra haber alcanzado progresos fundamentales en años recientes.

Dentro de los cambios realizados a partir del año 1994 para modernizar CODELCO ha sido importante la aprobación de planes de inversión de seis años en reemplazo de los planes anuales, lo cual permitió dar prioridad a los proyectos de expansión de capacidad en la mina Radomiro Tomic y Tercer Panel Andina. Otras medidas inmediatas fueron la reducción de personal, la que alcanzó a 2.700 personas en el año 1994; la racionalización de los servicios corporativos; las asociaciones con terceros para desarrollar nuevos proyectos; la externalización de servicios tales como tronadura, manutención de camiones, centrales telefónicas, alimentación del personal, pulperías, etc.

La llegada al país de las más importantes empresas mineras del mundo, las cuales han traído modernas tecnologías, junto con la práctica del benchmarking de la gestión introducida por CODELCO, ha motivado un fuerte incremento en las inversiones de desarrollo tecnológico y en los gastos de prospección minera de esta empresa, de acuerdo a la siguiente tabla:

Cuadro 9
EVOLUCIÓN DE INVERSIONES DE CODELCO
Millones de US\$

Año	I&D	Exploración
1980-1989	6.0	2.0
1990-1994	12.0	13.6
1995	18.5	15.0
1996-2000	20.0	20.0

Junto con el programa de inversiones financiado con recursos propios, CODELCO ha estado haciendo uso de las facultades otorgadas en la Ley 19137 (Ley CODELCO), aprobada el año 1992, para el desarrollo de asociaciones con terceros. Esta ley le ha permitido a CODELCO asociarse con inversionistas extranjeros, para la exploración y explotación de pertenencias mineras no explotadas hasta entonces, proyectos que por sí sola la empresa no podría financiar. En la actualidad la Corporación concentra más de US\$ 800 millones en activos provenientes de las asociaciones. La asociación más relevante hasta ahora ha sido con la compañía norteamericana Cyprus Amax, con la venta del 51% de la participación en el proyecto El Abra, por un monto de US\$330 millones. La puesta en operación del yacimiento requirió una inversión total de US\$ 1.050 millones. Durante el año 1997 esta faena minera, en su primer ejercicio anual, produjo 194 mil toneladas métricas de cobre fino, reportando a CODELCO una utilidad de US\$ 25 millones.

En el año 1996, CODELCO decide centralizar sus esfuerzos de investigación y desarrollo en temas relacionados con problemas tecnológicos derivados de las características minero-metalúrgicas de sus yacimientos para los cuales el mercado no parece tener respuestas. Para la

ejecución de estas actividades, CODELCO asigna un presupuesto anual equivalente a aproximadamente el uno por ciento de sus ventas de cobre y subproductos, lo cual se estima en unos 20 millones de dólares anuales promedio para el período 1999-2000. En 1997 CODELCO disponía de aproximadamente 20 personas dedicadas a actividades de investigación distribuidas en sus distintas divisiones. Además, 3 personas se dedican a este tipo de tareas en la casa matriz. Adicionalmente, a través de convenios de cooperación técnica con el Cimm (Centro de Investigación Minera y Metalúrgica), otras 60 personas efectuaban labores de investigación con dedicación preferencial a CODELCO. Recientemente, CODELCO ha creado un centro de investigación propio y por lo tanto, se presume que no seguirá utilizando el servicio de profesionales con dedicación exclusiva del Cimm.

Paralelamente, CODELCO decide influir sobre el desarrollo del mercado del cobre actuando para ello en colaboración con otras compañías relevantes de la industria. Ante la amenaza que el consumo caiga o crezca muy lentamente, ya sea por un bajo crecimiento de la economía mundial o por la sustitución del cobre por otros materiales, la empresa fomenta relaciones directas y estables con los consumidores de cobre, tratando de llegar a ellos con un servicio comercial de excelencia, en cuanto a calidad, oportunidad y condiciones de entrega. De acuerdo con este objetivo incrementa el número de casas comerciales en el exterior y busca acercarse a los consumidores de cobre. Adicionalmente, CODELCO compromete recursos financieros crecientes y esfuerzos de gestión en actividades de promoción e investigación de nuevos usos del cobre, a través del ICA (Asociación Internacional del Cobre) y de los centros locales de promoción, en colaboración con otros productores y consumidores importantes (International Council on Metals and Environment, International Copper Study Group, Environmental Mining Group, Basel, Technical Advisory Commission, etc.). Al mismo objetivo apuntan los esfuerzos realizados para la creación de centros regionales de promoción de nuevos usos del cobre en Europa, América del Norte y América Latina, vinculados a la ICA.

Cuadro 10
GASTOS EN INVESTIGACIÓN Y PROMOCIÓN NUEVOS USOS DEL COBRE
REALIZADOS POR CODELCO

Año	MUS\$	Año	MUS\$
1986	905	1992	3.479
1987	1.408	1993	4.000
1988	1.624	1994	3.500
1989	2.037	1995	4.000
1990	2.250	1996	4.500
1991	3.279	1997	5.500

1.2. SQM (SOQUIMICH)

Pese a que no opera en el mercado del cobre, y dado que nos muestra una estrategia tecnológica distinta a la de CODELCO, hemos decidido examinar como ejemplo de una conducta tecnológica alternativa en el campo minero el caso de SOQUIMICH - una firma minera privada,

grande, de capital chileno,- que decide seguir la ruta de la apertura del mix de productos y de la producción de ‘especialidades’ mineras a fin de aumentar el valor agregado doméstico. La tecnificación de la agricultura ha posibilitado la comercialización de diversos fertilizantes especialmente adaptados a zonas y mercados particulares, abriendo ello camino a una estrategia de diversificación del mix de productos por parte de Soquimich. Adicionalmente, se han realizado múltiples esfuerzos para mejorar la calidad tanto química como física de los productos. Un ejemplo de esto es el desarrollo del yodo, del que hasta el año 1994 existían 7 calidades, dependiendo del grado de pureza, en cambio en la actualidad sólo existe calidad única certificada bajo normas ISO 9002, este producto de calidad única actualmente se comercializa bajo la forma de prill en lugar de escamas lo cual dio origen a patentes en Chile y USA. Como estrategia para aumentar los usos del yodo, SQM ha integrado verticalmente la producción de sales de yodo y se ha asociado con el mayor productor de sales de yodo de USA (Ajay Chemical). En forma conjunta se han desarrollado con éxito nuevos productos tales como CF_3I y nuevos procesos productivos de más bajos costos para fomentar la demanda de derivados de yodo (yoduro de metilo, metaperyodato de potasio, yoduro de etilo, ácido yodhídrico, etc.). Junto con estos desarrollos, y debido a las exigencias del mercado mundial, se ha iniciado el reciclaje de yodo en Europa. Finalmente, SQM ha potenciado mediante múltiples convenios de bajo costo con distintas instituciones (públicas y privadas) aplicaciones conocidas para el yodo pero de baja utilización en algunos países como lo son el tratamiento de agua potable, la desinfección de ubres de vacas y la desinfección de frutas en distintas etapas de crecimiento y cosecha. A la fecha se han obtenido resultados promisorios en algunos mercados específicos, pero se requiere de montos importantes de inversión para extender su aplicación a toda Latinoamérica. En el caso de Estados Unidos, el obtener autorización para comercializar un producto de consumo humano (desinfección de frutas con un producto en base a yodo) puede tardar más de 5 años y requiere de un monto de inversión de 5 o más millones de dólares, obviamente sin garantías en el resultado.

SQM realiza esfuerzos de investigación y desarrollo en un centro de investigación propio, que cuenta con aproximadamente 20 investigadores. El mismo se justifica por la necesidad de desarrollar nuevos procesos para el tratamiento de un mineral (caliche) único en el mundo que ha ido aumentando cada vez más en complejidad tanto química como física (mayor contenido de arcillas, mayor contenido de sales complejas y menor contenido de nitratos). Cabe destacar que dicho centro de investigación no realiza investigación básica relacionada con nuevos usos para los productos de SQM, pese a que esta empresa es la principal productora a nivel mundial de varios de ellos (yodo, litio, nitrato de sodio, nitrato de potasio, etc.). Esto, debido fundamentalmente a que no tiene mayores ventajas comparativas respecto a la capacidad de investigación de muchos de sus clientes, grandes firmas mundiales. Es así como SQM desarrolla actividades de investigación en nuevos productos y/o nuevas aplicaciones por intermedio de asociaciones con empresas internacionales. Por ejemplo, en el caso de los derivados del yodo, en la asociación con Ajay Chemicals de Norteamérica (49% SQM y 51% Ajay), se ha desarrollado el CF_3I , producto en proceso de introducción al mercado y que es un sustituto efectivo de los CFCl_3 , cuestionados por contribuir a la destrucción de la capa de ozono.

El caso de SOQUIMICH nos muestra que la decisión de avanzar hacia la diferenciación de productos y hacia la elaboración de especialidades mineras debe ir acompañada de un compromiso significativo en la incorporación de recursos humanos calificados y en los gastos de I&D por parte de la empresa.

1.3. *ESCONDIDA*

Esta firma nos confronta con un tercer modelo de comportamiento, en lo que a conducta tecnológica se refiere. En este caso, estamos frente a una firma de capital extranjero, especializada en la producción del 'commodity'- concentrado de cobre - pero a raíz de su más reciente inserción en el mercado y a estar explotando un yacimiento relativamente 'nuevo', opta por una conducta tecnológica claramente distinta de las que siguen las dos firmas anteriores, la cual se basa en la explotación acelerada de un yacimiento de alta ley. Esta estrategia se refleja en el siguiente calendario de ampliaciones realizado por la empresa :

Período Proyecto original: 1988 - 1990

Fase I: 1992 - 1993

Fase II: 1993 - 1994

Lixiviación amoniacal y obtención de cátodos: 1992 - 1994

Fase III: 1994 - 1996

Proyecto óxidos y ampliación planta concentrados (actual): 1996 - 1998

Fase IV (nueva ampliación concentrador): en estudio.

Esta estrategia de crecimiento acelerado adoptada por Escondida, justificada por las extremas bondades del yacimiento, no ha estado exenta de problemas, sobre todo si se consideran los problemas técnicos que tuvo la planta de lixiviación amoniacal (proceso desarrollado en Estados Unidos por el socio principal (BHP) que obligaron a cerrar dicha planta después de 3 años de operación en los cuales nunca alcanzó su capacidad de diseño de 80.000 ton/año de cátodos. La producción creciente de Escondida se muestra en el cuadro siguiente :

Cuadro 11
PRODUCCIÓN DE COBRE DE ESCONDIDA
Miles Ton Métricas

Producto	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Cobre Fino Concentrados	9	298	337	389	481	438	792	869
Cobre Fino cátodos					2	28	49	64
Onzas de Oro		47	65	73	108	106	187	178

De acuerdo al plan de ampliaciones vigente, Escondida superaría la producción de 1 millón de toneladas métricas de cobre fino hacia el año 2000.

Los esfuerzos de investigación que se realizan en Minera Escondida en Chile son de menor relevancia y se canalizan en las áreas operacionales. Principalmente consisten en la introducción de nuevos equipos y en mejoras operacionales. Sin embargo, esto no implica que no se realicen labores de investigación y desarrollo de procesos, ya que la tecnología de lixiviación amoniaca implementada por esta empresa fue desarrollado en California (USA) por BHP, empresa australiana dueña del 57,5% de Minera Escondida.

1.4. LA PEQUEÑA MINERÍA DEL COBRE

En el ámbito de las empresas pequeñas, cuasi-artesanales muchas de ellas; donde los grandes cambios tecnológicos asociados a equipos pesados están, por definición, excluidos, resulta cada vez más difícil mantenerse en el mercado. Según un estudio elaborado por la Asociación Minera de Antofagasta, desde el año 1989 a la fecha, el número de pequeñas empresas mineras cayó de 120 a sólo 14, mientras que la fuerza laboral de esta actividad disminuyó de 4.400 a sólo 150 personas en igual período. A lo anterior, se suma la deficiente preparación técnica de este sector y los problemas legales con la propiedad minera, que llevan a las firmas pequeñas a asumir la condición de arrendatarios de minas y no de propietarios de las mismas. Además, muchos de los pequeños yacimientos se caracterizan por su alto costo de operación sobre todo en términos de transporte, porque generalmente se ubican lejos de los centros de elaboración y despacho. Se debe tener presente que lo que se transporta en el caso de los pequeños mineros es el mineral sin procesar (2 - 4% de Cu), en cambio en las faenas de mayor tamaño se transporta concentrado de cobre (40 - 50% de Cu). De acuerdo a las declaraciones de marzo de 1998 del ministro del ramo, Sergio Jiménez, no existe riesgo de que la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) sea privatizada, porque tanto esa entidad como Enap cumplen un rol indispensable. Jiménez indicó que ENAMI no ejerce un rol productivo, sino fundamentalmente de fomento y subsidio, que el estado debe cumplir.

Amén de lo anterior también resulta importante observar que en la pequeña minería existen condiciones de trabajo muy precarias, caracterizadas, aparte de una faena muy dura, por graves deficiencias de seguridad, y las consecuencias extremadamente negativas para la salud, causadas directamente por intoxicaciones, accidentes, polvo (silicosis), etc. La necesidad de una explotación rápida y la falta crónica de capital de inversión y operación, coloca a los pequeños mineros en complicadas relaciones de dependencia con intermediarios, terratenientes y propietarios de máquinas o con grupos que, de alguna manera, prefincian este tipo de actividad.

A partir de la discusión previa el cuadro 12 nos permite visualizar las grandes diferencias que median entre los principales actores de plaza en el plano de lo microeconómico, relacionado con temas de gestión financiera, tecnológica, medioambiental, de diversificación del mix de producción, etc.

Cuadro 12
IMPACTO DIFERENCIAL DE LAS VARIABLES MICROECONÓMICAS
SOBRE LAS DISTINTAS FIRMAS DE PLAZA

Áreas de Gestión	CODELCO	SQM	Escondida	Pyme
Comercial	pasiva	proactiva	pasiva	proactiva
Financiera	pasiva	proactiva	proactiva	pasiva
Productiva	conservadora	proactiva	proactiva	pasiva
Administración	conservadora	proactiva	proactiva	pasiva
Medioambiental	proactiva	conservadora	proactiva	pasiva
Relaciones Públicas	conservadora	conservadora	proactiva	proactiva
Nuevos Negocios	pasiva	proactiva	pasiva	pasiva
Plan de Inversiones	conservadora	proactiva	proactiva	pasiva
Caracterización de las estrategias históricas	Recuperar competitividad	Diversificación y nuevos neg.	Líder en costos y crecimiento	sobrevivencia
Resumen Conducta	conservadora	proactiva	proactiva	pasiva

Efectuada la discusión anterior, que nos permite identificar distintas estrategias de negocios entre firmas - mas proactivas unas y mas defensivas o conservadoras otras - estamos en condiciones de cerrar el presente estudio con un breve conjunto de reflexiones finales derivadas del material hasta aquí presentado. Para una mejor comprensión del grado de desarrollo alcanzado por Chile en materia de tecnología minera presentamos como Apéndice a este estudio una somera evaluación del estado de situación en lo que hace a tecnología en la Mina, propiamente dicha, tecnología de procesos y, finalmente, tecnología medio-ambiental.

V. REFLEXIONES FINALES

La industria chilena del cobre nos muestra con claridad como lo macro, lo meso y lo micro interactúan en un campo específico de la actividad productiva condicionando el sendero evolutivo de la misma a través del tiempo. También nos permite ver como dicho sendero evolutivo resulta de la interacción y co-evolución dinámica de variables económicas, tecnológicas e institucionales que se retroalimentan recurrentemente, haciendo que la estructura y comportamiento de la industria constituyan el reflejo de fuerzas económicas convencionales pero también de factores que hacen al marco institucional y regulatorio, así como a la ‘cultura’ ingenieril y tecnológica que Chile posee en esta materia.

En los tres planos - macro, meso y microeconómico - el sector minero de Chile ha cambiado dramáticamente en el curso de las últimas dos décadas. La estabilización macroeconómica, por un lado y, por otro, los cambios a nivel mesoeconómico en los derechos de propiedad, en el régimen impositivo, etc. afectaron profundamente la tasa de rentabilidad con que opera esta industria, despertando el ‘animal spirits’ empresario, e induciendo un fuerte flujo de nuevas inversiones - locales y extranjeras - hacia la misma. La apertura de nuevas minas y plantas de refinación, la llegada de nuevas empresas productoras de cobre, su arribo al medio local en compañía de grandes firmas internacionales de ingeniería y de empresas proveedoras de equipos y de servicios para la minería, fue gradualmente haciendo mas densa y nutrida la trama de agentes económicos del sector, mejorando la ‘cultura’ minera de la sociedad local y dando paso a un proceso de ‘maduración sistémica’ que hasta aquí ha sido poco examinado en la literatura sobre esta industria.

Las fuerzas provenientes de los tres planos macro, meso y microeconómico han afectado en forma diferenciada las expectativas, riesgos y oportunidades de las principales firmas de plaza, favoreciendo o condicionando las diferentes estrategias de negocios y comportamientos empresarios. En el cuadro que sigue, se presenta un resumen del impacto positivo; causado por la evolución experimentada en la última década en los tres planos - macro, meso y microeconómico; sobre las estrategias adoptadas por las principales firmas de plaza.

Previo a analizar las opciones que se abren de cara al futuro en la industria minera chilena, es necesario tener en cuenta los alcances del cuadro 13.

Cuadro 13
RESUMEN IMPACTO DIFERENCIAL DE LAS VARIABLES MACRO, MESO, Y
MICROECONÓMICAS SOBRE LAS DISTINTAS FIRMAS DE PLAZA

Variables	CODELCO	SQM	Escondida	Pyme
Macroeconómicas	Débil	Fuerte	Medio	Débil
Mesoeconómicas	Medio	Fuerte	Medio	Débil
Microeconómicas	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Débil
Caracterización de las estrategias históricas	Recuperar competitividad	Diversificación y nuevos neg.	Líder en costos y crecimiento	Sobrevivencia
Resumen Conducta Empresaria	Conservadora	Dinámica hacia fuera	Dinámica hacia dentro	Pasiva

La evolución de las variables macroeconómicas (tasa de interés, tipo de cambio, tasa de salarios, riesgo país, aranceles de importación, etc.) tienden a favorecer y estimular en mayor medida la estrategia múltiple (reducción de costos, optimización, diversificación, nuevos negocios, etc.) adoptada por firmas grandes de capital chileno - SOQUIMICH entre las aquí examinadas. En menor medida favorece también la estrategia de crecimiento y liderazgo en costos, adoptada por las firmas de propiedad extranjera, Escondida, en nuestro caso. Las empresas nacionales de menor tamaño y CODELCO - por su naturaleza de empresa pública - se ven menos estimuladas en su estrategia empresaria por la evolución de las variables macroeconómicas del país. Esto, tiende a reflejarse en diferencias de comportamiento que son vitales en el largo plazo. Las mas ‘expuestas’ al impacto de las variables macro son las que han aumentando su competitividad y ganado participación relativa al interior del sector a través del tiempo, ya sea por ampliación de capacidad instalada (SQM y Escondida) como por vía de la diversificación de negocios (SQM). CODELCO, en cambio, ha visto fuertemente restringida su capacidad de inversión a lo largo de los últimos años a raíz de su inserción al interior del sector gubernamental chileno y de la fuerte dependencia que ello genera entre el ciclo fiscal y las necesidades de financiamiento del sector público vis a vis los requerimientos de inversión de la firma. Es así como CODELCO ha perdido terreno relativo dentro del sector, al igual que lo han hecho las firmas pequeñas y medianas de capital nacional.

La evolución de los factores mesoeconómicos (legislación minera, régimen impositivo, formación de recursos humanos, firmas de ingeniería, fabricantes y representantes de equipos, etc.), también muestra un impacto diferenciado entre las empresas analizadas. En efecto, los distintos componentes del marco regulatorio sectorial, que tienen una gran influencia en el comportamiento expansivo de las empresas privadas no parecen afectar mayormente a CODELCO, dada su naturaleza de empresa pública. Por otra parte, la evolución de las firmas locales de ingeniería y de las casas de representación comercial, que no han afectado el comportamiento empresario de las firmas extranjeras, si ha facilitado la implementación de la estrategia de modernización tecnológica adoptada por las firmas nacionales de gran tamaño y con operaciones de larga data. La pequeña minería no parece estar mayormente influida por los temas de formación de recursos humanos o por el papel que en este mercado cumplen las firmas de

ingeniería o los representantes comerciales de firmas productoras de equipos. Debido a los escasos recursos de inversión que manejan se hallan francamente marginadas de los procesos de modernización tecnológica.

En cuanto a las variables microeconómicas, existen significativas diferencias entre los principales actores de plaza en lo que hace al impacto que el agotamiento de los respectivos yacimientos tienen sobre las conductas tecnológicas - mejora de procesos y prospección minera - y de inversión de las empresas. Lo cual se traduce en requerimientos de inversión altos para CODELCO, con el propósito de mantener su competitividad, altos para empresas Pyme, con el propósito de subsistir, medios para SQM y bajos para Escondida, por ser esta última una faena nueva. Las debilidades y fortalezas respectivas, especialmente en lo que se refiere a disponibilidad de recursos de inversión, de cada uno de dichos actores resalta con claridad condicionando el sendero de desarrollo del sector minero chileno. Teniendo en cuenta lo anterior junto con las restantes diferencias de comportamiento empresario indicadas en el Cuadro 12 en el plano microeconómico, a nuestro juicio es factible caracterizar las estrategias empresarias adoptadas en el pasado de la forma que lo indica el Cuadro 13.

A partir de la discusión previa, se puede resumir la conducta empresarial de CODELCO como conservadora, la de SQM como dinámica hacia afuera, la de Escondida como dinámica hacia adentro y la de las empresas Pyme como pasiva. Cabe señalar que esta síntesis de conductas empresarias sólo destaca el rasgo principal de cada una de ellas, y en ningún caso pretende restar mérito a los esfuerzos realizados por las distintas empresas, dadas las limitaciones propias de cada una de ellas. Por otra parte, en el caso de SQM en el último tiempo se ha podido apreciar un renovado dinamismo empresario hacia adentro, adoptando una conducta más conservadora hacia afuera (Ej: decisión de no invertir en el negocio del cemento, fusión de empresas productivas, ajustes administrativos, etc.). Para asegurar la competitividad futura de cualquier empresa dependiente de un recurso natural no renovable, a nuestro juicio se requiere necesariamente una conducta empresarial dinámica y con énfasis estratégicos que se renuevan cada cierto tiempo (3 o 4 años), lo cual no implica que en ciertas oportunidades se puedan cometer errores, sin embargo a largo plazo el dinamismo empresarial es siempre más exitoso que una conducta permanentemente conservadora. En el caso de Escondida, que ha basado su crecimiento en la explotación de un yacimiento nuevo de extremas bondades, a futuro y en la medida que dicho yacimiento alcance un cierto grado de madurez, es muy probable que su dinamismo empresario también se vuelque hacia afuera, adquiriendo nuevas reservas económicas o asociándose con terceros o bien adquiriendo algún competidor ya sea en Chile o fuera de Chile. Asimismo, resulta lógico pensar que a futuro dicha empresa presentará un mayor dinamismo en lo que se refiere a desarrollo tecnológico e investigación, en la medida que el mineral que procesa se vuelva más complejo.

Por su parte, la mayor firma de plaza - CODELCO- cuya principal estrategia empresarial de los últimos años ha sido el recuperar la competitividad perdida, y pese a la importancia que hubo de adquirir dicho proceso de maduración sistémica a lo largo de los años 1990 y a que el mismo involucró tanto un fuerte proceso de mejoramiento tecnológico y organizativo como

también una clara reducción de la brecha relativa de eficiencia entre la industria minera chilena y la frontera tecnológica internacional, ha mantenido una conducta empresaria conservadora, si se la compara con la de SQM o con la de Escondida.

Finalmente, la conducta empresaria pasiva de las firmas Pyme es el reflejo de las limitaciones de recursos de inversión, de yacimientos de altos costos operacionales y de escasa rentabilidad.

El sector minero confronta contemporáneamente a Chile con varios dilemas de fondo que deberán ser enfrentados en años venideros. Dada la intención de este estudio de concentrar nuestro esfuerzo sobre lo tecnológico e innovativo, (y consientes de que estamos dejando de lado temas de crucial importancia para el futuro de la minería chilena) nos limitaremos en esta última sección del trabajo a discutir dos aspectos inter-relacionados que son: 1. El debate en torno al rol de CODELCO, 2. El tema del desarrollo de la capacidad tecnológica interna en el campo minero. Dada la gran complejidad y las distintas valoraciones personales con que cada uno de estos temas puede ser discutido, siguen a continuación una serie de reflexiones sobre los mismos que, por supuesto, no pretenden agotar el debate.

Como parte del debate en torno al rol futuro que habrá de cumplir CODELCO, se debe tener en cuenta que sólo el mantener la competitividad actual de CODELCO y su participación de mercado, requerirá de cuantiosas inversiones de distinta índole en sus operaciones de larga data, además de un intenso programa de desarrollo tecnológico tendiente a superar la complejidad creciente de sus minerales tanto física como metalúrgica. De acuerdo a las proyecciones disponibles, la participación de CODELCO en la oferta nacional de cobre continuara descendiendo en años venideros como lo ha venido haciendo en fechas recientes, estimándose que quedara en el entorno al 35% de la oferta total de cobre de Chile en el curso de la próxima década. Obviamente, esta situación puede ser revertida en la medida que CODELCO modifique su conducta empresaria históricamente conservadora por una conducta dinámica tanto hacia afuera como hacia adentro. Dicho cambio de conducta empresaria tendría importantes repercusiones en el sector minero chileno. En otras industrias en las que existen empresas del tamaño y relevancia de CODELCO (Ej.: SQM en la industria del yodo) es frecuente que estas empresas mantengan algún grado de control o influencia en el precio internacional del producto que elaboran, lo cual les permite tomar decisiones de apertura y cierre de operaciones en base a esta consideración. Si bien la situación actual de oferta y demanda mundial de cobre, no le permite a CODELCO influir en el precio internacional, no es menos cierto que Chile en su conjunto ha aumentado en forma acelerada su producción hasta alcanzar cerca de un 40% de la oferta mundial, situación que ha repercutido en forma importante en el precio internacional del cobre. En este proceso expansivo, CODELCO lejos de jugar un papel protagónico ha perdido terreno en forma paulatina y de no mediar un cambio importante en la conducta empresaria, su rol protagónico dejará de ser tal. Como ha sido indicado en el análisis comparativo de CODELCO, SQM y Escondida; la adquisición de empresas, la apertura de nuevas operaciones, el crecimiento acelerado, la diversificación, la incursión en diferentes líneas de negocios relacionados y semi-relacionados, tanto en Chile como en el exterior, etc.; son algunas de las

múltiples acciones propias de una empresa con una conducta empresarial dinámica y que en el caso de la minería (recurso natural no renovable) resulta esencial para asegurar la sobrevivencia más allá de la vida económica del recurso minero. Para avanzar en esa dirección CODELCO requeriría de un fuerte programa de inversiones, de alianzas estratégicas de distinta naturaleza con grandes grupos transnacionales y de una profunda reestructuración del modelo organizacional y régimen de incentivos con el que hasta el presente ha funcionado. CODELCO nace y crece como una empresa pública y ello trae involucrado patrones de comportamiento fuertemente burocráticos y ‘pesados’ así como múltiples dificultades estructurales para adaptarse al mundo abierto y desregulado de hoy. Modificar el régimen interno de incentivos basado en reglas de antigüedad y sustituirlo por un mecanismo de premios y castigos asociados al desempeño, constituye una tarea lenta y difícil en la cual se han logrado ciertos avances parciales en fecha reciente que aún distan de ser completamente satisfactorios.

Algunos pasos concretos que a nuestro juicio podría dar CODELCO que apuntan en esta dirección son los siguientes: cambiar el régimen de incentivos con que funciona la empresa, ajustando gradualmente su plantel en función de una nueva estrategia de globalización, incursionar en la compra de yacimientos de terceros que presenten ventajas operativas para CODELCO, explorar la conveniencia o no de ofrecer yacimientos en administración al sector privado, buscar alianzas estratégicas en distintas áreas, por ejemplo con fabricantes de equipos mineros de porte mundial como Caterpillar o Komatsu, o con firmas de ingeniería de procesos del estilo de Bechtel, Fluor Daniel u otros, profundizar sus gastos de I & D y avanzar hacia la consolidación de capacidad tecnológica propia de clase mundial, etc.

De no mediar un cambio en la conducta empresarial hasta hoy conservadora de CODELCO, parece lógico esperar que esta empresa pública continuará perdiendo importancia relativa frente a la minería privada, seguirá carente de protagonismo en la escena internacional y tratando de mantenerse competitiva con yacimientos cada vez más antiguos y complejos.

En cuanto al tema del desarrollo de la capacidad tecnológica interna en el campo minero chileno, se debe tener en cuenta que las principales inversiones realizadas por las empresas extranjeras dicen relación con la explotación de nuevos yacimientos, y que dada las bondades naturales que presentan estos yacimientos, no ha habido grandes esfuerzos de desarrollo tecnológico. En efecto, en la mayor parte de los casos ha bastado con utilizar las tecnologías disponibles en el mundo (SX-EW, equipos mineros de gran tamaño, etc.) para asegurar un adecuado retorno de la inversión. Teniendo en cuenta que los costos operacionales de estos nuevos yacimientos no deberían sufrir mayores variaciones en los próximos 10 años, parece lógico pensar que los esfuerzos del sector extranjero de la industria seguirán puestos en la búsqueda de nuevos yacimientos de alta ley más que en el desarrollo de nuevas tecnologías que les brinden ventajas competitivas.

Desde esta perspectiva resulta razonable esperar que gran parte de lo que se haga en el país en materia de desarrollo de la capacidad tecnológica interna habrá de estar asociado a CODELCO y a lo que el mismo sector público - a través de universidades, institutos tecnológicos

del campo estatal, etc. - haga en esta materia. Pese a que es mucho lo que CODELCO ha progresado en este plano en los últimos años resulta claro que todavía también es mucho lo que resta por avanzar para alcanzar un adecuado clima innovativo dentro de la empresa. CODELCO ha encarado con fuerza su transformación en esta materia renovando programas y enfoques en la búsqueda de nuevos conocimientos tecnológicos, pudiéndose esperar fuertes progresos en esta materia en años venideros.

Mas allá de lo que haga CODELCO en esta materia conviene observar que el desarrollo de una 'cultura' minera en Chile depende también de los esfuerzos que en materia tecnológica desarrollen tanto el sector universitario como los institutos de investigación del ámbito público. Aquel aparece como mas orientado al mejoramiento de los recursos humanos así como a temas de investigación básica. Por otra parte, los centros tecnológicos estatales, incluyendo tanto los universitarios como aquellos que cuentan con financiamiento público, enfrentan el obstáculo de falta de recursos y de las bajas remuneraciones lo que dificulta la retención de personal altamente calificado. Resulta clara en este sentido la experiencia negativa del Cimm que opera en franca desventaja ante otros centros de investigación análogos de países mineros desarrollados, que disponen de recursos varios ordenes de magnitud mayores que aquel.

Es escaso el impacto que en este campo de la actividad productiva ha tenido el sistema de fondos concursables manejado por el sector público en años recientes como incentivo al desarrollo de nuevas tecnologías. Las necesidades de investigación y desarrollo de las empresas mineras chilenas con yacimientos de larga data son cuantiosas, especialmente respecto a desarrollo de nuevos procesos, técnica y económicamente competitivos, para el tratamiento de minerales cuya complejidad tanto química como física ha ido aumentando. De forma creciente estos desafíos se han ido enfrentando a través de un creciente número de convenios de cooperación o intercambio tecnológico con centros de investigación nacionales y/o extranjeros y con proveedores.

Previo al auge minero de los años 90, las empresas de ingeniería nacionales no contaban con la experiencia ni los recursos necesarios para implementar grandes proyectos de inversión. La situación actual es diferente tras la ejecución de grandes proyectos mineros a lo largo de la corriente década. A partir de la gran demanda por servicios de ingeniería realizada por CODELCO se ha dado un fuerte proceso de maduración en el ámbito de las firmas locales de ingeniería que hace que en la actualidad muchas de estas estén en condiciones de enfrentar con éxito proyectos mineros significativamente mayores a los realizados en la década de los ochenta. Asimismo, la presencia en Chile de grandes firmas extranjeras de ingeniería ha permitido a las empresas nacionales fortalecer la capacidad de gestión y organización asimilando estilos de gestión y organización más modernos.

La nueva tendencia que se observa, en el ámbito minero chileno, en la relación Cliente-Proveedor, es que en forma creciente los proveedores están presentes en las propias faenas mineras, interiorizándose de los problemas y potenciales dificultades para resolverlos de parte de los clientes, lo cual ha llevado a relaciones de más largo plazo entre clientes y proveedores, las

que normalmente se acompañan por desarrollos o mejoras tecnológicas realizadas en forma conjunta. Por otra parte, el constante avance tecnológico de los equipos, ha obligado a los representantes a contar con personal profesionalizado, eficiente y entrenado para asegurar que los equipos continúen operando y satisfaciendo las necesidades de los clientes. Esto, ha implicado por una parte el reemplazo de personal de las áreas tradicionales de venta por profesionales técnicos en nuevas áreas de servicio al cliente como la posventa, junto con el permanente entrenamiento y perfeccionamiento profesional de sus empleados.

Finalmente, y en lo que hace al tema de la tributación a los recursos mineros no renovables, resulta claro que resta por efectuarse aquí un debate sustantivo acerca del flujo de ingresos que la sociedad chilena debería recoger por vía de impuestos. La competitividad de largo alcance en minería depende de la capacidad para explorar en búsqueda de nuevos yacimientos y ampliar así las reservas conocidas. Basta comparar los gastos en prospección minera que realiza CODELCO (US\$ 20 millones anuales) con los que realiza Escondida (US\$ 1,65 millones en 1997) - esta última con una producción equivalente a tres cuartas partes de la de CODELCO - para darse cuenta de lo complejo del tema y de la necesidad de un programa coordinado entre el Sector Público y el Sector Privado que encare el tema impositivo y el de los gastos de prospección minera como parte de un mismo conjunto de temas que demanda una solución integrada. Japón por ejemplo, ha iniciado en años recientes programas de prospección de nódulos de manganeso en el fondo marino con recursos y técnicas muy lejos de las que hoy emplea Chile. Sin embargo, Chile con ventajas geológicas innegables, cuenta con extensas áreas de su territorio que permanecen sin explorar muchas veces por falta de recursos y otras por falta de alianzas estratégicas con grandes grupos internacionales. A nuestro juicio más que debatir si se debe o no recaudar mas impuestos de una actividad que explota recursos no renovables, lo que debería hacerse es estudiar como los ingresos fiscales y la prospección minera constituyen dos caras de una misma moneda relacionadas ambas con la futura competitividad chilena en la industria minera.

BIBLIOGRAFÍA

- Abetti, P. (1989), "Linking Thecnology and Business Strategy", The presidents the chief executive officers division of american management association, New York.
- Bande, J. Marshall, I. Silva (1993), "Cambios estructurales en la industria del cobre y estrategias de Codelco después de la nacionalización. Una interpretación", Chile exporta minería, editor Ivan Valenzuela, Santiago.
- Bannach, H. (1991), "Struggle for competitiveness: an industry perspective for nineties", Copper 91 international conference, Codelco- Chile, Chuquicamata Division, Chuquicamata, Chile.
- Canitrot, A. (1980), "Innovation and Development: A model for evaluating the incidence of macroeconomic variables in analysis of technological decisions" (499 - 535), working paper published by the IDB/ ECLA/ IDRC/ UNDP Research Programe on Scientific and Technological Development in Latin America.
- Corporación Nacional del Cobre (1990 - 1998), *Memorias anuales - Codelco*, Santiago, Chile.
- Instituto de Ingenieros de Mina de Chile (1994-1998), *Revista Minerales*, Santiago, Chile.
- Katz, J. Gutkowski, M. Rodríguez, M. Goity, G. (1978), "Productivity and Technological Search: Technology Generation in Latin American Manufacturing Industries" (190 - 240), Macmillan Press, Buenos Aires, Argentina.
- Lagos, G. (1997), "Developing national mining policies in Chile: 1974 – 96", Resources Policy Vol 23, No. ½, pp. 51-69, Elsevier Science Ltd., Great Britain.
- Marshall, I. (1995), *The competitive strategy of Codelco*, Copper 95 international conference, volume I plenary lectures, the metalurgical society of CIM.
- Ministerio de Minería (1993), *II Taller de tecnología en minería*, editor Ivan Valenzuela, Santiago.
- Ministerio de Minería (1991), "Anales del primer taller de investigación y desarrollo tecnológico en la minería chilena", temas de Cauquenes, Rancagua.
- Morales, J. E. (1997), *Clima innovador y desarrollo tecnológico*, 48^a Convención del Instituto de Ingenieros de Mina de Chile, Iquique, Chile.

- Morales, J. E. (1995), "Management of technological innovation at Codelco – Chile", Copper 95 international conference, volume I plenary lectures, the metalurgical society of CIM.
- Piñera, J. (1986), *La ley minera*, Estudios públicos N° 21, Centro de Estudios Públicos, Santiago.
- Revista Minería Chilena (1994 - 1998), Editec, Santiago, Chile.
- Revista Latinominería (1995 -1998), G & T International, Santiago, Chile.
- Servicio Nacional de Geología y Minería (1990-1998), *Anuario de la minería de Chile*, Santiago.
- SQM S.A. (1988 - 1998), *Memorias anuales*, Santiago.
- Tilton, J. (1995), "Surviving in the Competitive and Global Mining Industry", CSM Mineral Economics and Management Society, Colorado School of Mines, Golden, CO 80401.
- Tilton, J. and Landsberg, H. (1997), "Innovation, Productivity Growth, and survival of the U.S. Copper Industry", Copper Study, Colorado School of Mines, Golden, CO 80401.

APÉNDICE

Evolución tecnológica del sector minero chileno

Area Mina

Los gastos de mina y procesamiento del mineral (transporte, molienda, disposición final de ripios, etc.) constituyen la mayor componente de los costos directos de explotación de cualquier yacimiento. Es por esta razón que la calidad del recurso minero es extremadamente relevante, junto con el tamaño de las operaciones, lo cual permite importantes economías de escala.

En el caso de la minería metálica los costos de extracción pueden variar desde valores sobre 3 US\$/ton de mineral, en yacimientos pequeños tipo vetas, a valores inferiores a 1 US\$/ton en grandes yacimientos a rajo abierto. En el caso de la minería no metálica (explotación de caliche) dichos costos fluctúan entre 0,8 US\$/ton (material que no requiere tronadura) y 2,2 US\$/ton. Los valores normales de costo de extracción en los grandes yacimientos de caliche (20 a 35.000 ton/día) fluctúan entre 1,2 y 1,5 US\$/ton, dependiendo del ciclo de vida del parque de los equipos mineros. La planificación adecuada del equipo minero, variable de gran peso en el costo unitario final del producto, debe considerar no sólo el ciclo de vida de un equipo (para los camiones varía entre 5 y 7 años), sino también su vida útil económica, siendo muy posible que se produzcan oportunidades de cambio tecnológico previo a finalizar el ciclo de vida del equipo minero.

Dado el avance tecnológico a nivel mundial en los equipos mineros, los principales esfuerzos que se han realizado en Chile consisten en adquirir equipos preseleccionados en carácter de prueba para su posterior utilización generalizada. Este es el caso tanto de CODELCO como de SQM, donde lo normal ha sido el reemplazo de equipos de tamaño medio por equipos de última generación y de gran tamaño. Minera Escondida por su parte, puso en operaciones la más moderna tecnología disponible en el mercado, como es el caso del cargador Marathon Le Tourneau, modelo L-1400, el primero que se utilizó en Chile y el octavo a nivel mundial.

Sin embargo, las empresas mineras en general actúan como seguidoras del mercado (actitud conservadora) y no se perciben a sí mismas con capacidad suficiente como para desafiar la tecnología de equipos mineros disponible en el mercado con desarrollos propios.

Por otra parte, dada la creciente complejidad de los equipos mineros (Ej.: Equipos con uno o dos computadoras a bordo correspondientes a la tecnología Vital Information Monitoring System), la tendencia, (CODELCO en el año 1990 y Soquimich en el año 1992), ha sido que la

manutención sea realizada por el proveedor del equipo. Por lo tanto, lo que realmente se adquiere son horas efectivas de disponibilidad de cada equipo. Esto, ha trasladado esfuerzos técnicos y de gestión que antes se requerían al interior de cada empresa a los proveedores de equipos mineros. Tanto en cantidad como en valor, los camiones figuran en primer lugar del parque de equipos en el área mina. Las empresas que construyen camiones fuera de carretera (off the road trucks) se encuentran desarrollando nuevos modelos para lanzarlos al mercado entre 1998 y el primer semestre de 1999. El nuevo desafío técnico y de ingeniería consiste en construir camiones con una capacidad de carga de 330 toneladas métricas, como promedio. Caterpillar, Unit Rig y Liebherr, son tres de las firmas que se encuentran en la etapa de diseño, fabricación y testeo de sus nuevos modelos “super gigantes”, mientras que Komatsu tiene desde hace un año el camión más grande que existe en el mercado.

La sensibilidad en el tamaño de equipos se ilustra en la siguiente comparación para una operación de aproximadamente 100 millones de toneladas anuales de remoción de material:

Palas		
(Peso material 3.000 lb/yd³)		
Tamaño balde	28 yd ³	54 yd ³
Carga útil	42 ton	81 ton
Número palas requerido	4	2
Disponibilidad	85	85
Camiones		
Tamaño	170 ton	240 ton
Número camiones requerido	24	15
Disponibilidad de la Flota	79	81
Costo		
Costo de Capital Total MMUS\$	48	36
Ahorro Operacional US\$/ton	--	20%

Las constantes mejoras tecnológicas en los equipos mineros benefician a todos los productores de cobre, donde cada método de explotación define su propio conjunto de equipos mineros, no así el tamaño de los mismos que hacen más competitivos aquellos yacimientos a rajo abierto de grandes dimensiones como es el caso de las minas Chuquicamata, Escondida y Radomiro Tomic. Dada la natural tendencia a que la posición competitiva de las minas a rajo abierto de CODELCO continúe mejorando (en base a un método de explotación determinado), los principales esfuerzos internos realizados por esta empresa se han orientado al desarrollo de tecnologías de explotación de minas subterráneas, especialmente El Teniente. Es así como se han realizado exitosos esfuerzos tendientes a robotizar las faenas extractivas, en forma particular la del área Teniente Sub-6, la cual por los diversos problemas geomecánicos que ha presentado es considerada de alto riesgo para los operadores. Lo anterior, ha implicado desarrollar prototipos

de equipos que han requerido utilizar tecnologías de punta, no siempre disponibles en el mercado. Durante el año 1997 CODELCO aprobó un programa de investigación por un monto de US\$ 12 millones, destinado a generar soluciones a problemas críticos de caving y manejo de materiales en minería subterránea, así como métodos alternativos de explotación de roca primaria en este tipo de minería.

En cuanto a los subcontratistas de transporte, estos han visto paulatinamente reducidas sus posibilidades de competir, pese a disponer de parques de equipos usados completamente depreciados. Esto, debido a la baja disponibilidad de sus equipos y a la menor eficiencia de los mismos en relación a los últimos equipos disponibles en el mercado. Por esta razón, si bien existió una fuerte tendencia a externalizar servicios de transporte en los años 80, con posterioridad a este periodo la tendencia a sido el reemplazo del contratista por equipos propios.

Sin perjuicio de lo anterior, las principales modernizaciones que se han introducido al interior de las empresas mineras (aparte de la modernización de los equipos rodantes) ha sido el desarrollo de: técnicas computacionales de planificación y explotación minera; sistemas de chancado primario en mina (móviles o semimóviles); sistemas de traslado de mineral por correas transportadoras a las instalaciones fijas de chancado y molienda; sistema de control computarizado en el despacho de camiones y la optimización del costo explosivo - molienda (manejo de granulometría en la mina). Lo anterior, sobre la base de una tecnología minera dada que ha sobrevivido por más de 60 años.

En el caso de la minería no metálica (SQM) esta optimización de costos llega hasta la obtención de soluciones de lixiviación, ya que para diferentes granulometrías se obtienen rendimientos de extracción también diferentes. La modelación en este caso se ha efectuado realizando pruebas mineras y lixiviación en pilas, de tamaño semi-industrial, con mineral run of mine.

Dadas las modernizaciones introducidas en el área mina, la gestión administrativa de la explotación de yacimientos se ha visto simplificada y ha dejado de ser tan dependiente de los años de experiencia en el rubro.

Un claro ejemplo de lo anterior, es la experiencia de SQM: Hasta el año 1988 la administración de las faenas mineras eran responsabilidad de personas con más de 20 años de experiencia en las propias minas de SQM. (Costos unitarios del orden de 2,2 US\$/Ton y dotación de 1.600 personas). En el año 1990 - 1993 se produjo la principal modernización del parque minero, la cual fue impulsada por un profesional de vasta experiencia minera pero no en caliche (los costos bajaron a 1,6 US\$/ton y la dotación bajo a 800 personas). Actualmente el área está siendo administrada por un profesional joven sin mayor experiencia en explotación de minas y los costos han seguido bajando (1,3 - 1,5 US\$/ton) al igual que la dotación (550 personas). Esto, mediante la introducción de nuevos equipos de mayor tamaño, pero a la vez más adecuados a las faenas de explotación de caliche (primeros equipos que reemplazaron la tecnología tradicional ya cumplieron su vida útil). Cabe destacar que la planificación del nuevo parque de equipos mineros

contó con la colaboración de un experto internacional, y se realizó con gran éxito el reemplazo de palas de carguío del mineral por cargadores frontales, de bulldozers de remoción de sobrecarga por equipos de mayor tamaño (que evitaron tronar la sobrecarga) y de camiones de 50 ton por camiones de 85 ton. Paralelamente, se dio inicio al chancado primario en mina con transporte por correas transportadoras, con un largo de aproximadamente 10 km., lo que permitió incorporar reservas económicamente inexplotables por el método de transporte tradicional (ferroviario).

Por otra parte, si se compara la productividad de CODELCO, cercana a 60 ton/hh, con la mina de mayor productividad en el mundo, 150 ton/hh (empresa australiana), es lógico concluir que aún existen importantes espacios de optimización tanto en la gestión administrativa como en la robotización, la cual requiere el contar con información del yacimiento en tiempo real. Cabe destacar que en la división Chuquicamata de CODELCO se realiza un programa de investigación a nivel piloto para la captura de información del recurso minero en tiempo real, lo cual debiera permitir adoptar mejores decisiones de explotación y beneficio del mineral.

Área Procesos

En términos generales la tecnología de procesos es una variable de segundo orden en relación a las ventajas comparativas que resultan de las leyes del mineral y de las economías de escala derivadas del tamaño de las faenas mineras, ya que cuando se calcula el valor del negocio minero, entre el 75% y 85% está dado por el valor del recurso en sí. Adicionalmente, la difusión de nuevas tecnologías e innovaciones en el área minera es extremadamente rápida, lo cual imposibilita el mantener una posición competitiva superior en base a una tecnología que puede ser única en un momento determinado.

La tecnología SX-EW, calificada como la más moderna tecnología de proceso en la industria del cobre, fue desarrollada en Estados Unidos en los años 60/70. La primera instalación industrial fue instalada en Arizona (yacimiento Bluebird) en el año 1968, con el proceso desarrollado por Hazen Research Incorporated, la tecnología de extractantes de General Mills Corporation y el diseño de planta de Bechtel Corporation. Cabe destacar que la lixiviación ácida de óxidos de cobre ya era ampliamente conocida e incluso fue implementada en Chuquicamata en el año 1912. A partir de los avances tecnológicos desarrollados en Estados Unidos, en el año 1970 comenzó el tratamiento de los minerales oxidados de la mina Exótica (hoy mina Sur de la división Chuquicamata de CODELCO). Esta faena que debió paralizar en 1974, debido a la gran complejidad metalúrgica del mineral, fue reabierta en noviembre de 1976, luego de intensas labores de investigación, incorporándose un pretratamiento mediante curado ácido. La incorporación de la extracción por solventes fue implementada en el año 1987, junto con el tratamiento de ripios. La extracción con solventes había sido previamente implementada en Chile en Minera Pudahuel el año 1981 y en la división El Teniente, en el año 1984. La segunda instalación industrial en el mundo del sistema SX-EW tuvo lugar en el año 1970 en la mina de Bagdad de Cyprus Mine. Subsecuentes instalaciones tuvieron lugar en la década de los 70 en Nchanga en Zambia, Cerro Verde en Perú y TwinButtes, Johnson Camp, Miami, Battle Mountain, Inspiration y Ray en Estados Unidos.

Las ventajas comparativas de la tecnología SX-EW normalmente se aplican a sulfuros de cobre de leyes inferiores a 0,8% y a óxidos de cobre con leyes inferiores a 0,75%. Adicionalmente, otras limitaciones que esta tecnología encontró en Chile fueron el alto consumo de ácido sulfúrico, la poca disponibilidad y elevado precio del ácido sulfúrico, las bajas recuperaciones (65%), el alto consumo específico de energía y problemas de purificación de las soluciones producto de minerales complejos. Cabe destacar que paralelamente al desarrollo de la hidrometalúrgica existió un avance importante en los procesos pirometalúrgicos, los que permitieron aprovechar al máximo la energía calórica contenida en los sulfuros, proporcionando un menor consumo de energía que la electro-obtención. Sin embargo, las variables ambientales y los costos de capital para faenas de explotación en los rangos de leyes indicados anteriormente hacen más competitiva la tecnología SX-EW. No hay que olvidar que, a la fecha, la única opción para el tratamiento de minerales de calcopirita (sulfuros primarios de cobre) sigue siendo la pirometalurgia. Por otra parte, la tecnología SX-EW es la única posible y/o la más rentable en materiales secundarios (ripios de botadero, polvos de fundición, sulfuros secundarios de baja ley, etc.). Las principales desventajas de la tecnología SX-EW pueden ser resumidas en dos: sólo permite la recuperación de cobre y no de los subproductos (molibdeno, oro y plata), y es lenta respecto a la pirometalúrgica ya que opera a más bajas leyes (incrementos de concentración de cobre son más graduales). En todo el mundo la industria del cobre sigue estudiando las mejores alternativas para el tratamiento de los minerales. Una de estas investigaciones está radicada en Australia, cuenta con el financiamiento de más de diez compañías mineras internacionales, y se trata de una lixiviación química de concentrados de cobre que no requeriría de las etapas de extracción por solvente y electro-depositación. El llamado "Proceso Intec" arrojaría como producto final cobre de alta pureza en forma de polvo briqueteado. Otros procesos en avanzada etapa de desarrollo son el proceso BHAS, Sherritt-Cominco y Cuprex. Este último, se desarrolla conjuntamente por ICI de Inglaterra, Nercó de Estados Unidos y Técnicas Reunidas de España.

En los tres casos estudiados, las empresas destinan elevadas inversiones en exploración de nuevos yacimientos con el propósito de asegurar su posición competitiva en el largo plazo. Por otra parte, los factores clásicos de falta de competitividad de las empresas estatales (CODELCO y SQM hasta el año 1988) han dejado de ser aplicables (sobredotación, problemas de gestión, falta de recursos de inversión, etc.). El ajuste en las dotaciones se vio facilitado por la gran oferta de trabajo, producto de las nuevas operaciones mineras, lo que posibilitó reducción de personal sin mayores conflictos laborales. En el caso de CODELCO, se ha introducido la multifuncionalidad en los puestos de trabajo, lo que posibilita llenar vacantes en forma interna.

Escondida cuenta con plantas nuevas de alta tecnología, sin embargo, ha tenido dificultades operacionales con su planta de obtención de cátodos por vía amoniaca (tecnología única en su clase en el mundo, la cual lixivia concentrados de cobre en forma parcial), paralizando temporalmente sus operaciones. Sin bien sería esperable que Escondida realizara los esfuerzos técnicos necesarios para lograr una operación eficiente y económicamente competitiva con la tecnología de tratamiento convencional de concentrados (pirometalúrgica), al parecer se ha optado por la opción de descartar esta tecnología y dar otro uso a las instalaciones.

Con el propósito de producir yodo en forma adicional al obtenido en las faenas tradicionales (chancado y lixiviación en bateas), SQM desarrolló la tecnología de lixiviación en pilas para el tratamiento de ripios (1988- 1990), posteriormente para desmontes (1991-1993), y luego para caliche (1994-1997). Paralelamente, SQM desarrolló la tecnología de obtención de sales de nitrato (1995-1996), a partir de las soluciones de descarte de las operaciones de lixiviación en pilas destinadas a la obtención de yodo. Estos desarrollos le brindaron a SQM el liderazgo mundial y la posibilidad de suministrar el yodo adicional que requería el mercado internacional (a precios del yodo bajo los 12 US\$/kg.). Esta importante posición competitiva tuvo una duración aproximada de sólo 2 años. En la actualidad existen al menos 3 nuevas faenas mineras en Chile, financiadas con aportes de capital extranjeros, que aplican con éxito dichas tecnologías (Boron Chemicals, Yolanda y ACF). La principal ventaja actual de SQM es el tamaño de sus operaciones y la propiedad de gran parte de los mejores yacimientos de yodo y nitrato, traspasados por Corfo en forma previa a la privatización de esta empresa. Por otra parte, ya que la calidad de sus reservas, en sus centros de operación tradicionales, va en claro descenso (especialmente en la planta de Pedro de Valdivia), los principales desafíos futuros para esta empresa son el desarrollar una tecnología de lixiviación que sea más flexible y permita mantener o mejorar los rendimientos actuales, con mayor independencia de la composición química del mineral. Teniendo en cuenta que no existen yacimientos de esta naturaleza en otra parte del mundo, se estima que dicha investigación seguirá siendo realizada o conducida en forma interna por SQM, a través de su centro de investigación (CIP).

El caso de CODELCO tiene varias semejanzas con el caso de SQM, principales yacimientos en explotación desde hace más de 60 años, en que la calidad tanto química como física de sus reservas va en disminución. La mayor parte de los desarrollos de procesos de CODELCO dicen relación con el tratamiento de minerales de menor calidad (sulfuros de baja ley, ripios, polvos de fundición, minerales alterados, etc.) y se estima que a futuro esta seguirá siendo la principal línea de desarrollo de procesos. En esta dirección apunta el convenio suscrito con la filial en Chile de la empresa BetzDearborn Inc., en el cual se desarrolla una aplicación de ayuda de humectación previa a la lixiviación de minerales complejos de cobre con problemas metalúrgicos o de percolación.

Bajo una perspectiva conservadora, otros desarrollos futuros de CODELCO seguirán siendo la adaptación de tecnologías, disponibles en el mercado, al tamaño único de sus operaciones (Ej.: celdas de flotación gigantes, molinos de gran tamaño, etc.), a fin de obtener ventajas comparativas. También es importante que por el tamaño de sus operaciones, CODELCO continúe investigando y mejorando las técnicas de obtención de subproductos. Asimismo, bajo un prisma conservador, otras áreas de investigación de CODELCO, como lo es el mejoramiento del convertidor Teniente, no tendrían el mismo grado de relevancia en los resultados globales de la compañía, ya que si bien en el pasado fue necesario desarrollar esta tecnología para hacer funcionar un proyecto fracasado, en la actualidad sólo representaría un área de negocio más (venta de esta tecnología a terceros). Completamente diferente sería el caso si CODELCO pudiera alcanzar un 'break-through' significativo (un quiebre de verdadera importancia en la tecnología de procesos) en lugar de mejoramientos de una tecnología cuyas patentes se

encuentran vencidas. En ese caso lo lógico para una empresa del tamaño de CODELCO sería explotar directamente su ventaja competitiva como productor en lugar de vender o licenciar la tecnología, como es el caso del convertidor Teniente.

Área Medio-Ambiental

La adaptación llevada a cabo tanto por CODELCO como por ENAMI, responsables en gran medida de severos daños ambientales, se refleja en inversiones ambientales por más de US\$ 635 millones entre los años 1989 y 1996, que se relacionan con el manejo y disposición de relaves y la instalación de tecnologías de abatimiento y control de la contaminación en fundiciones (plantas de ácido sulfúrico, manejo y captación de gases y partículas, etc.).

PLAN DE INVERSIONES EN MEDIO AMBIENTE DE CODELCO
Millones de US\$

Proyecto	División	1997	1994 - 99
Captación y Tratamiento de Gases CPS 2ª Etapa	Chuquicamata	6.1	64.3
Plan de Desarsenificación	Chuquicamata		40
Manejo y Limpieza de Gases Fundición Potrerillos	Salvador	16.6	47.9
Planta de Acido Potrerillos	Salvador	4.7	98
Peraltamiento Embalse Los Leones	Andina	6.8	56.8
Depósito Embalse Ovejería	Andina	64.3	243.9
Planta de Acido Teniente	El Teniente	26.5	73
Tercera Etapa Tranque Carén	El Teniente	3	35.8
Otros Proyectos Menores		4.1	79.1
Total		132.1	738.8

El programa de inversiones ambientales de CODELCO, que se muestra en el cuadro anterior, contempla una inversión de US\$ 740 millones entre los años 1994 y 1999.

Durante el año 1997 destaca el término de la segunda etapa del proyecto de captación y tratamiento de gases de convertidores Pierce-Smith en Chuquicamata. Este proyecto ha elevado la captura de arsénico a más de un 90% y la de SO₂ a más de un 80%.

Los estudios de ingeniería conceptual del Plan de Desarsenificación de la división Chuquicamata, señalan que será posible alcanzar durante 1999 un control ambiental del 97% del total de arsénico y azufre generados, situándolos en estándares internacionales.

División Salvador concluyó su proyecto Manejo y Limpieza de Gases, lo cual ha disminuido drásticamente la emisión de gases fugitivos, posibilitando la instalación de la planta de ácido sulfúrico iniciada en 1997 y que entrará en operaciones el año 1999.

División Andina registró importantes avances en la construcción de las obras proyectadas en sus embalses Los Leones y Ovejera.

Por su parte, División El Teniente continuó la construcción de la primera Planta de Ácido Sulfúrico, cuya puesta en marcha está contemplada para 1998 y dio inicio a la tercera etapa del Tranque Carén.

En cuanto a la minería privada, empresas como Collahuasi, Mantos Blancos, Quebrada Blanca, Candelaria, Escondida, y El Abra, han estado haciendo cuantiosas inversiones ambientales durante los años recientes, y mantienen una constante preocupación por la sustentabilidad ambiental de sus operaciones y faenas.

Quebrada Blanca, ejemplifica el uso de tecnologías ambientales de punta, obteniendo el cobre metálico mediante lixiviación bacteriana, extracción por solvente y electro-obtención, procesos que no producen humo de fundición, ni relaves, ni eliminan soluciones líquidas. Además tiene bajo consumo y muy eficiente utilización del agua, y usa el transporte de un producto en estado metálico.

Minera Escondida, maneja ambientalmente su planta de cátodos, minimizando las emisiones de amoníaco gaseoso a través de su recuperación y reutilización en el proceso; la recuperación del amoníaco gaseoso llega a 99%, con lo que el nivel de concentración de emisiones es bastante bajo. Adicionalmente, Escondida ha validado sus estudios de impacto ambiental, aprobados por las autoridades pertinentes, entre los cuales se destaca el de descarga submarina de los excedentes líquidos del transporte de concentrado, ante expertos del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (P.N.U.M.A.) y la Comisión Permanente del Pacífico Sur (C.P.P.S.), en un taller de trabajo realizado en Antofagasta, a mediados de 1991.

Entre los proyectos que utilizan tecnologías limpias (aplicable sólo a minerales tipo óxidos de cobre y sulfuros secundarios), que mitigan los efectos dañinos al ambiente, o hidrometalúrgicos (lixiviación, extracción por solvente y electro-obtención), actualmente en operación destacan: Cerro Colorado, Quebrada Blanca, proyecto Lince-Michilla, proyecto Zaldívar-Outokumpu, Radomiro Tomic y proyecto Andacollo-Cobre.

En cuanto a la minería no metálica, como es el caso de SQM, esta es poco contaminante, ya que se trata de un proceso de lixiviación con salmueras y cristalización por enfriamiento de soluciones ricas, sin otros riles que el propio mineral lixiviado (tortas de ripio). Sin embargo, los esfuerzos ambientales se deberán seguir realizando para disminuir las emisiones de polvo de chancado (1% del mineral tratado) a fin de cumplir la normativa vigente.

En resumen, la mayor parte de las grandes empresas del sector minero en Chile ya han asumido que para lograr sus objetivos estratégicos deben tomar en cuenta el diseño e implementación de sistemas de gestión ambiental (SGA) integrados a su gestión global.

Considerando lo anterior, sin duda en el futuro cercano, los principales esfuerzos de inversión para actualizar sus instalaciones a la nueva normativa (SEIA) seguirán centrados en la minería estatal (CODELCO y ENAMI).

En el caso de ENAMI ya se han invertido cerca de US\$ 90 millones, de un total de 120 estimados, en los proyectos de modernización de la Fundición y Refinería Ventanas, y la Fundición Hernán Videla Lira (o Paipote).

El proyecto de modernización de la Fundición Ventanas, con un monto de inversión total de US\$ 50,6 millones, se inició en el período 92-93, su ingeniería básica y detalles se realizó entre los años 94 y 95. La ingeniería básica fue realizada por el consorcio ARA, Cade Idepe, Lurgi (inversión de US\$ 1,2 millones) y la ingeniería de detalles por la empresa Indepro Ingeniería Ltda. (inversión de US\$ 1,4 millones). Las obras se iniciaron en mayo de 1996 y finalizaron en septiembre de 1997 y fueron adjudicadas a la empresa Sigdo Koppers. El D.S. N°252 estableció el siguiente calendario para ENAMI Ventanas: Bajar emisiones de material particulado de 3.400 t/año a 2.000 t/año en 1998, y a 1.000 t/año en 1999. Bajar emisiones de azufre de 62.000 t/año a 45.000 t/año en 1998 y máximo 20.000 t/año a partir de junio de 1999, dando cumplimiento a la norma de calidad del aire.

En el caso del proyecto de modernización de la Fundición Paipote, se contrató a la empresa Fluor Daniel para realizar el estudio de factibilidad, cuyo objetivo fue determinar la tecnología más adecuada que permitiese captaciones de azufre sobre el 90%. La tecnología más adecuada desde un punto de vista técnico-económico resultó ser el uso del Convertidor Teniente con oxígeno, con una inversión total de US\$ 73,4 millones, lo cual incluye: reemplazo del horno reverbero por convertidor Teniente, horno eléctrico para limpieza de escoria, captación de gases, enfriamiento de gases y plantas de ácido sulfúrico. De acuerdo al DS N°252, se deberá cumplir con las siguientes metas: Bajar las emisiones de azufre desde 2.200 t/mes en invierno y 3.700 t/mes en el resto del año a valores de 2.200 t/mes y 2.600 t/mes en 1998, a 1.666 t/mes y 1.666 t/mes en 1999 y al cumplimiento de la norma ambiental en el año 2000. Bajar emisiones de arsénico desde 84 t/año a 28 t/año y de material particulado desde 1.500 t/año a 600 t/año para el año 2000.

Finalmente, es importante destacar los esfuerzos a nivel de ingeniería nacional en el área ambiental, ya que si bien las principales mejoras en el área ambiental se encuentran asociadas a reemplazos de equipos y a nuevas instalaciones (Ej.: horno eléctrico en lugar de reverbero, plantas de ácido, plantas de secado de concentrado, plantas de oxígeno, precipitadores electrostáticos, etc.), tecnologías ya conocidas a nivel mundial, siempre es posible optimizar las instalaciones existentes sin grandes inversiones.

A continuación se mencionan dos casos en los cuales ha existido un aporte en el área medio-ambiental a nivel de ingeniería local.

Las emisiones de neblina ácida al interior de los edificios de electro-obtención de cobre es un problema común a numerosas empresas mineras a nivel mundial. La solución tradicional ha sido la dilución de la contaminación y la incorporación de esferas de PVC sobre la superficie del baño de electrolito, destinadas a condensar la neblina. Sin embargo, la empresa nacional Same Ltda., especializada en ventilación industrial y control de emisiones contaminantes a la atmósfera, ha propuesto con éxito una nueva solución que disminuye las emisiones fugitivas tradicionales y que consiste en campanas individuales de alta energía, ubicadas sobre cada una de las celdas componentes de una nave EW y conectadas a una red de ductos que transporta las neblinas ácidas a un equipo de retención. Durante el desarrollo de la Ingeniería Conceptual del Proyecto Lixiviación Los Bronces y previo a su implementación, se efectuaron pruebas a escala 1:1 en la nave EW de la planta de óxidos en el área El Soldado.

Asimismo, es importante mencionar la reciente tecnología desarrollada en conjunto por ENAMI y el Cimm, motivo de una patente de aseveración, relacionada con el proceso de desarsenizado que aumenta la eficiencia en la extracción del arsénico y al mismo tiempo evita la generación de arsina (gas tóxico). Además, el nuevo proceso cuenta con medidas extremas de seguridad, que permite abatir cualquier traza de arsina que pueda generarse por eventuales defectos operativos.

En cuanto a las empresas privadas de servicios y/o investigación en el área ambiental, en el último tiempo ha existido una verdadera proliferación de alianzas estratégicas de negocios entre empresas nacionales e internacionales (Same & USA Intec, Lakefield Research Chile & Goodfellow Consultants, etc.).

Incluso el Cimm no ha escapado a esta tendencia, la cual es una de las vías más rápidas de actualización tecnológica, y a mediados del año 1996 firmó un convenio con el organismo francés BRGM, con la finalidad de desarrollar servicios integrales en el campo de la valorización y/o de la descontaminación de residuos mineros.